



Lehden värin vaikutus kasvin houkuttelevuuteen tuhohyönteisille

Kim Tilli

Maisterin tutkielma

Helsingin yliopisto

Maataloustieteiden laitos

Maatalouseläintiede

Joulukuu 2014



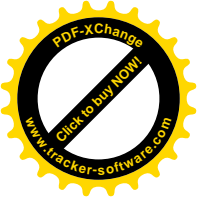
HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution – Department Maataloustieteiden laitos
Tekijä/Författare – Author Kim Tili		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Lehden värin vaikutus kasvin houkuttelevuuteen tuhohyönteisille		
Oppiaine / Läroämne – Subject Kasvintuotantotieteet / Maatalouseläintiede		
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika/Datum – Month and year Joulukuu 2014	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 91 s.
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Kasvinsuojeluaineiden käyttöä kasvintuhoojien torjuntaan pyritään muun muassa Euroopan Unionissa vähentämään maatalouspoliittisin keinoin ja lisäksi torjuntakäyttöön sallittujen kemikaalien määrä vähenee koko ajan. Jotta tuotanto ei samanaikaisesti vähene, on kehitettävä uusia keinoja edelleen tuottaa tehokkaasti.</p> <p>Käytössä on jo kemikaalien käytön vaihtoehtoisiksi useita viljelytekniisiä keinoja, kuten muokkaustavat, viljelykierto, katteet, houkutuskasvustot ja harsot. Tämä tutkimus pyrki selvittämään osaltaan onko kasvin värillä merkitystä eli voiko oikealla lajikevalinnalla vähentää hyönteistuhoja.</p> <p>Värin vaikutusta hyönteisten syönti- ja munintakäyttäytymiseen on tutkittu suhteellisen vähän. Lisäksi erilaisia teorioita ja hypoteeseja tästä käyttäytymisestä on esitetty pääasiallisesti kirjallisuustutkimusten perusteella ilman kenttäkokeita. Muutamat suoritettut kokeet ovat olleet usein ainoastaan yhdellä hyönteis- tai kasvilajilla järjestettyjä, joten vertailtavaa aineistoa on ollut hyvin vähän käytettävissä.</p> <p>Tämän kokeen tarkoitus oli verrata samanaikaisesti useiden hyönteislajien käyttäytymistä, koska eri lajeilla voi olla erilaiset isäntäkasvin etsintästrategiat. Peltokoe suoritettiin käyttäen sekä hyöty- että koristekasvilajeja. Kasvatustaapissa tehdyllä syöntikokeella haluttiin lisäksi testata eriväristen ravintokasvien vaikutusta hyönteisen, tässä tapauksessa kaaliperhosen, kehittymiseen.</p> <p>Kasvukauden alun suurten lämpötilanvaihteluiden sekä alhaisten lämpötilojen vuoksi peltokokeen viidestä kasvilajista yksi käytännössä kuoli pois kokeen aikana ja vain kaksi lajeista kasvoi hyvin. Toisaalta nämä kaksi lajia antoivat selkeän tuloksen lajikkeen värin vaikutuksesta eli korrelaatiosta värin ja hyönteistuhojen välillä. Syöntikokeessa sama trendi näkyi toukkien punnituspainossa; vaaleinta kaalia syöneet toukat kasvoivat eniten ja punaista kaalia syöneet vähiten. Värillä tai sen indikoimilla yhdisteillä näyttäisi olevan siis vaikutusta myös hyönteisen kehitykseen.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Väri, hyönteisvioletus, sekundaarimetaboliitti, kehitys		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Työtä ohjasi maatalouseläintieteen professori, PhD Heikki M.T. Hokkanen		



HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty The Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos/Institution– Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä/Författare – Author Kim Tilli			
Työn nimi / Arbetets titel – Title The effect of leaf colour on the attractivity of plants to insect pests			
Oppiaine /Läroämne – Subject Plant production sciences / agricultural zoology			
Työn laji/Arbetets art – Level MSc thesis		Aika/Datum – Month and year December 2014	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 91 p.
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>In order to reduce the use of pesticides there is a new agricultural policy in the EU, also the number of approved chemicals to be used for this purpose is diminishing all the time. In order not to reduce the agricultural production simultaneously, new ways to continue producing effectively need to be found.</p> <p>Some alternatives for the use of chemicals are already in use, such as soil cultivation, crop rotation, mulching, lure plant stands and the use of horticultural fleece. This study sets out to find out whether the colour of the plant is of importance, i.e. whether insect damage be reduced with the right choice of cultivar.</p> <p>The effect of colour on the feeding and ovipositioning behaviour of insects has been studied fairly little. In addition, different theories and hypotheses on this behaviour have mainly been proposed based on literature research without field experiments. Most previous experiments have been carried out mainly with a single insect or plant species, and therefore comparable data has been scarce.</p> <p>The purpose of this experiment was to simultaneously compare the behaviour of several insect species, since different species supposedly have different strategies for finding their host plant. The field experiment was conducted using both food and ornamental plant species. A separate feeding experiment was carried out in order to test the effect of differently coloured food plants on the development of an insect, in this case cabbage white butterfly.</p> <p>Due to tremendous fluctuation in the temperature at the beginning of the growing period and to low temperatures one of the five plant species used in the field experiment virtually died and only two of the species grew well. On the other hand these two species gave a clear result on the effect of colour, i.e. a correlation of colour and insect damage. In the feeding experiment the same trend could be seen in the measured weight of the cabbageworm; the caterpillars that ate the lightest coloured cabbage grew the most, and those that ate red cabbage grew the least. This seemingly suggests that colour or the compounds that the colour indicates also has an effect on insect development.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Colour, insect damage, secondary metabolite, development			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Department of Agricultural Sciences and Helsinki University Library in Viikki			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information The study was supervised by Heikki M. T. Hokkanen, PhD, Professor of Agricultural zoology			



Sisällys

1 Johdanto	3
2 Kirjallisuus.....	4
2.1 Hyönteisen näköaisti	9
2.2 Punainen	13
2.3 Vihreä.....	17
2.4 Keltainen.....	18
2.5 Muut värit sekä kirjavuus ja räikeys	20
2.6 Hyönteisen suunnistus, isäntäkasvin valinta ja muninta.....	22
2.7 Muun kuin värin vaikutus	24
2.8 Herbivorihyönteisen fitnessi eli kelpoisuus.....	26
2.9 Hypoteeseja ja teorioita kasvien väreistä.....	28
3. Tutkimuksen tavoitteet	31
3.1 Onko värillä vaikutusta hyönteistuhoihin.....	31
3.2 Vaikuttaako ravinnon väri hyönteistoukan kehitykseen	33
4. Aineisto ja menetelmät	34
4.1. Kasvihuonekasvatus	34
4.1.1 Kasvualustat.....	35
4.1.2 Kastelu ja lannoitus kasvihuoneessa	35
4.1.3 Lämpötila	36
4.2 Taimet.....	36
4.3 Taimikasvatus	36
4.4 Peltokoe.....	37
4.4.1. Peltokokeen valmistelu	38
4.4.2 Istuttaminen	40
4.4.3 Koealan hoito.....	41
4.4.4 Olosuhteet	42
4.5 Syöntikoe	43
4.6 Hyönteisseurannan menetelmät.....	44
4.6 Tilastolliset menetelmät	45
5. Tulokset	45
5.1 Olosuhteet seuranta-aikana	45



5.2 Peltokokeen hyönteisseurannan tulokset	46
5.3 Syöntikoe kaaliperhosen toukilla.....	49
5.4 Syöntikokeen tulokset	54
5.5 Punnituksen tulokset.....	55
6. Tulosten tarkastelu	56
6.1 Peltokokeen tulokset.....	56
6.2 Syöntikokeen tulokset	58
6.3 Haittaeläimet	58
6.4 Maaperän vaikutus	59
6.5 Tilastollinen merkittävyys.....	60
6. 6 Odotukset koekasveilla tavattavista hyönteisistä	61
7. Johtopäätökset	63
7.1 Kokeen tulokset suhteessa kokeen alkujärjestelyihin	63
7.2 Suositukset ja jatkotutkimukset	64
8. Kiitokset	66
Lähteet.....	66
Liitteet.....	72
Liite 1. Taimet	72
Siementaimet	72
Ostotaimet.....	72
Liite 2. Taimikasvatus yksityiskohtaisemmin	73
Liite 3. Hyönteisseurantalomake	78
Liite 4. tilastollinen tarkastelu	79
Liite 5. Lämpötilat	84
Liite 6. Toukkien punnituspainot.....	88



1 Johdanto

Hyönteiset aiheuttavat vahinkoa viljelykasveillemme toisaalta syömällä niitä tai imien näiden sisältämiä kasvinesteitä ja näin kuluttaen niiden energiavaroja ja toisaalta toimimalla virusten, patogeenisten sienten sekä bakteerien vektoreina (Archetti ym. 2008, Chittka ja Döring 2007). Kasvit eivät pysty pakenemaan näitä haitallisia organismeja, joten kasveilla on tarve kyetä puolustautumaan (Treutter 2006, Schaefer ja Rolshausen 2005). Luonnonkasvustossa herbivorialle altis kasvilaji suojautuu suhteellisen helposti muiden kasvien seassa, mutta maatalousympäristössä kasvi tuodaan monokulttuurina esille ilman kilpailua altistumaan herbivorihyönteisille (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133). Nämä hyönteiset voivat olla joko generalisteja tai spesialisteja, joita kasvien sisältämät ulkoiset ja sisäiset ominaisuudet toisinaan joko houkuttavat tai karkottavat (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

On esitetty kasvien värien indikoivan kykyä puolustautua herbivorihyönteisiä vastaan ja että kasvien poikkeava väritys estää hyönteisiä piiloutumasta kasvien lehdistöä vasten omilla suojaväreillään (Schaefer ja Rolshausen 2005). Esimerkkinä väryksestä on arvioitu punalehtisyyden voivan olla adaptaatio vähentämään hyönteisten aiheuttamaa kuormitusta, mutta sen toisaalta vievän kasvin voimavaroja (Archetti ym 2008).

Aiemmassa syöntikokeessa (Loader ja Damman 1990) oli testattu oletusta, että lehden/ravinnon laadun heikennys saattaisi alentaa kasvinsyöjähyönteisten hengissä säilyvyyttä epäsuorasti altistaen ne luontaisille vihollisilleen. Kokeessa alhaisen typpisisällön kasveilla naurisperhosen (*Pieris rapae* L.) toukat kehittyivät hitaammin ja käyttivät runsaammin aikaa syömiseen. Hengissä säilyminen oli heikompaa alhaisen typpisisällön kasveilla ruokituilla toukilla kuin typpipitoista ravintoa saaneilla toukilla kun ne altistettiin pedoille ja loisille (Loader ja Damman 1990). Tutkimuksen tausta-aineistossa mainittiin alhaisen typpipitoisuuden



todistettavasti (Loader ja Damman 1990; Slansky ja Feeny 1977) lisänneen ravinnon kulutusta aiemmissa kokeissa. Pidempi ravinnonhankinta-aika altistanee toukan pidemmän aikaa myös luontaisille vihollisilleen.

Toisessa syöntikokeessa eri-ikäisillä kasvin lehdillä (Coley ym. 2006) oli todettu hyönteistoukkien kasvavan nopeammin nuorilla kuin täysikasvuilla lehdillä ja tämän katsottiin kuvastavan nuorten lehtien korkeampaa typpi- ja vesipitoisuutta. Specialistit kasvoivat generalisteja nopeammin, mutta molemmat reagoivat positiivisesti ravitsemukselliseen laatuun.

Kokeet osoittivat myös, että perhostoukkien kasvua ja puolustuskykyä korreloi näiden isäntäkasvien ravitsemuksellinen koostumus ja näiden puolustautumiskeinot (Coley ym. 2006). Lehtien typpi- ja vesipitoisuuden vaikutukset poistettuna koetuloksista nuori lehti antoi edelleen toukille paremman kasvun kuin täysikasvuinen lehti. Syynä saattaisi olla puolustusaineiden (haitta-aineiden) vähäisyys kasvavassa lehdessä. Sekundaarimetaboliitit ja ravinteet sanelisivat siis kasvinsyöjähyönteisen kasvunopeuden (Coley ym. 2006).

Generalistien arveltiin olevan herkempiä sekundaarimetaboliiteille kuin specialistien. Hidas kehitys altistaisi toukat näiden luontaisille vihollisille ja saisi ne hakemaan parempaa suojautumiskeinoa ravinnosta.

2 Kirjallisuus

Suvullisesti lisääntyvät kasvit muuntelevat joskus paljonkin sekä ulkoisilta että sisäisiltä ominaisuuksiltaan. Viljelyyn ovat valikoituneet lajit, joiden ominaisuudet vastaavat ihmisen tarpeita fyysisiltä ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan. Pitkän domestikaation aikana näistä lajeista on valinnan avulla ja kasvinjalostuksen keinoin tietoisesti kehitetty pääsääntöisesti terveydellemme haitallisista metaboliatuotteista vapaita (Swain 1977, Prokopy 1983), ominaisuuksiltaan melko yhtenäisiä lajikkeita. Puna- ja vaalealehtisiä (jopa keltaisia) esiintyy kasvustoissa silti silloin tällöin



osoittaen, että geneettistä variaatiota esiintyy jatkuvasti. Värin lisäksi myös kasvin koko ja rakentuminen voivat vaihdella. Tulisiko poikkeavat yksilöt yksinkertaisesti poistaa lajikkeen pitämiseksi yhtenäisenä, vai olisiko syytä tutustua näihin poikkeaviin yksilöihin ja näiden mahdollisiin hyödyllisiin ominaisuuksiin lähemmin?

Kasvien ja hyönteisten koevoluution myötä kehittyneen kasvien punaisen ja keltaisen värin (syysvärit) uskotaan viestittävän kasvinsyöjähyönteisille vastustuskykyä herbivoriaa vastaan. Vaikka punaiselle kasville laskeutunut hyönteinen usein pian aistiikin tämän sopimattomuuden ruokailuun tai ovipositioon ja jatkavan etsintäänsä (Karageorgou ja Manetas 2005), kirvojen ei kuitenkaan ole todettu valikoivan ravintokasvia värin mukaan (Schaefer ja Wilkinson 2007). Näille on olennaisempaa ravinnepitoisuus kasvinnesteessä. Kirvojen oletetaan etsivän ravintokasvinsa haihtuvien aineiden tuoksun perusteella pikemmin kuin värin perusteella (Schaefer ja Wilkinson 2007). Kaalikasvit (*Brassicale*) puolustautuvat herbivorialta tuottamallaan sekundaarimetaboliiteilla, glukosinolaateilla. Ne ovat useimmille generalistihyönteisille syömäkelvottomia tai jopa myrkyllisiä. *Pierinae* -alalahkon perhoset (*Lepidoptera*) kykenevät detoksifikaatiomenetelmillään käyttämään näitä kasveja ravinnokseen ja näiden toukat ovat erikoistuneet glukosinolaatteja tuottaviin kasveihin. Punalehtisille kasveille nämä perhoset eivät kuitenkaan muni (Maskato ym. 2014). Glukosinolaatit ovat rikki- ja typpipitoisia yhdisteitä, jotka hydrolysoituvat herkästi kasvin vahingoittuessa muuttaen kasvin pahanmakuiseksi tai jopa myrkylliseksi generalistihyönteisille, mutta *Pierinae* -perhosilla tämä stimuloi munintaa (Maskato ym. 2014). Kaalikasvien lisäksi glukosinolaatteja esiintyy muun muassa koristekrasseilla (*Tropaeolum sp. L.*). Lisääntymisaktiivisten (esim. siemeniä kypsytävien) kasvien uskotaan tuottavan ainoastaan aitoja varoitussignaaleja (haihtuvia) indikoimaan pudotusta ravinnetasossaan tehden näistä huonoja isäntäkasveja. Kenttäkokeet puoltanevat (Schaefer



ja Wilkinson 2007, Karageorgou ja Manetas 2005) koevoluutiivista ajatusta että kirvojen esiintyminen ja herbivoria on vähäisempää värikkäillä lehdistä.

Punalehtisestä kasvista on todettu lehtien sisältävän vähemmän sokereita ja enemmän hyönteisille haitallisia aineita (Manetas 2005). Punalehtisestä omenapuusta mainitaan punaväriin kehittymisen kuluttavan yhteyttämistuotteita ja siten vaikuttavan hillitsevästi kasvin kasvunopeuteen sekä pienentävän lehtien ja hedelmien kokoa (Archetti 2009). Kokeessa (Markwick ym. 2013) alun perin australialaisen kääriäislajin *Epiphyas postvittana* (Walker) (Lepidoptera; Tortricidae) toukat suosivat vihreitä ennen punaisia lehtiä. Eri-ikäisistä lehdistä punalehtisellä omenalla vanhemmat lehdet olivat nuorimpia mieltuisampia, mutta vihreällä päinvastoin nuorimmat lehdet kelpasivat parhaiten. Pimeässä preferensseissä ei ollut eroa, mikä viittaisi valintaan näköaistin perusteella. Puna- ja vihreälehtisellä kaalilla (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) tehdyssä vertailevassa kokeessa (Maskato ym. 2014) on todettu kaali- ja lanttuperhosen (*Pieris* sp. L.) munivan ja ruokailevan lähes yksinomaan vihreällä kaalilla. Saman tutkimuksen syöntikokeessa (Maskato ym. 2014) kummankin lajin toukat söivät molempia kaalityyppejä, mutta kehitys ja kuolleisuus erosivat toisistaan. Punalehtistä kaalia syödessään toukat kehittyivät hitaammin, jäivät kooltaan pienemmiksi ja toukkien kuolleisuus oli hieman suurempi lanttuperhosella kuin tämän syödessä vihreälehtistä kaalia (Maskato ym. 2014). Kaaliperhosella tätä eroa ei esiintynyt. Elinvoimaisuus koteloitumiseen asti oli korkeampi vihreällä kaalilla. Kehittyäkseen toukkien piti syödä punalehtistä kaalia enemmän, saadakseen kehitykseensä tarvitsemansa ravinto- ja ravinnemäärän (Awmack 2002, Maskato ym. 2014). Punaisia, antosyaania sisältäneitä, lehtiä syöneiden toukkien aineenvaihdunta oli voimakkaampi, mikä saattaa merkitä lisääntyntä energiankulutusta detoksifikaation vuoksi (Maskato ym. 2014) vähentäen allokaatiota kasvuun. Punaisilla ja vihreillä kaalinlehdillä ruokitut toukat kehittyivät ennen koteloitumistaan samankokoisiksi, joten punainen väri hidasti kehitystä (Maskato ym. 2014).

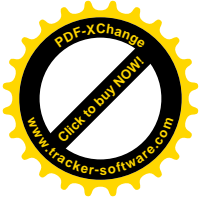


Maskato (2014) totesi lisää käytännön kokeita tarvittavan, jotta voitaisiin nähdä toistuuko sama valinta muninnassa muidenkin kasvien kuin kaalin erivärisillä lajikkeilla.

Irakilaisessa kokeessa (Merkhou ym. 2013) todettiin vihreän keräkaalin olevan kaaliperhoselle soveliaa ravintokasvi syötettäessä erilaisia kaalikasveja (*Brassica* L.) sen toukille. Kaaliperhonen on erikoistunut glukosinolaatteja sisältäviin ravintokasveihin (Maskato ym. 2014, Merkhoul ym. 2013) ja se munii näille näiden kaikilla kehitystasteilla. Toukat tuhoavat kasvin lehdistön. Toukkien kehitys oli nopeinta, elossapysyvyys paras ja suurin osuus aikuisiksi kehittyneitä (Merkhou ym. 2013) vihreällä keräkaalilla. Sillä saatiin aikaan paras konversio ruoasta biomassaksi eli hyödyntämssuhde.

Hyönteistä houkuttaa UV-A, sinisen sekä vihreän spektrin heijastukset pinnoilta, eivätkä useimmat hyönteiset erota ihmissilmän näkemää punaista väriä (Manetas 2005). Swain (1977) esittää punaisten lehtien näyttävän hyönteissilmälle kuolleilta. Perhosten on esitetty näkevän punaista, mutta välttelevän sitä (Swain 1977, Karageorgou ja Manetas 2005). Näille perhosille punainen lehti signaloi kasvin panostavan puolustukseensa (Karageorgou ja Manetas 2005).

Kirjavalehtisyys saattaa suojata hyönteisherbivorialta (Campitelli ym. 2007 a). Kirjavuus lehden pintakerroksessa saattaa ilmentää hyönteiselle että kasvi kärsii ravinnepuutoksesta tai että se on vaurioitunut. Ravintokasvia etsivä kasvinsyöjähyönteinen tulkitsee klorofyllin osittaisen puuttumisen kemiallista puolustusta tai jo tapahtunutta munintaa osoittavaksi ilmiöksi. Vihreän kasvinsyöjähyönteisen ei myöskään ole helppo suojautua vaalealla lehden pinnalla, missä se on alttiina saalistukselle. Kokeessa (Campitelli ym. 2007 a) todettiin kirjavalehtisen kasvin kärsivän 44 % vähemmän lehdistön syönnistä kuin normaalin vihreän lehden, mutta olleen alttiimpia imeväsuisten hyönteisten ruokailulle. Optimaalisen puolustuksen teorian mukaan tässä tapauksessa vihreä verso indikoisi parempaa kelpoisuutta ja



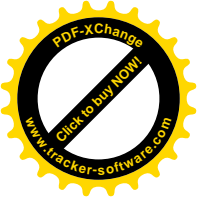
puolustautumiskykyä kuin kirjava, johtuen yhteyttämistuotteiden allokoinnista kirjavuuden tuottamiseen (Campitelli ym. 2007 a).

Vaalealehtisyys indikoi voimakasta nuorta kasvua ja sen myötä kasvin korkeaa typpipitoisuutta (Awmack 2002). Typpi onkin fosforin ohella hyönteisille tärkeimpiä kasvin sisältämiä ravinteita (Awmack 2002). Hiilipohjaisten hiilihydraattien (kuten aminohapot) ja puolustusmetaboliittien (kuten fenolit) määrät vaikuttavat myös kasvinsyöjähyönteisten ruokailuun ja lisääntymiskykyyn. Toisaalta lehdistön vaaleus saattaa kertoa kasvin alentuneesta puolustusmekanismista joko sairauden (virustauti) johdosta tai stressin myötä (Awmack 2002).

Kokeessa kasvin lehden muodon vaikutuksesta (Campitelli ym. 2007 b) herbivorihyönteisten ravinnon kulutukseen ja myös toimintakykyyn nähtiin olevan vaikutusta sillä, minkä ikäisestä kasvista syötävä kasvikuutos on peräisin sekä onko se kasvanut pitkässä päivässä. Todettiin (2007 b) todennäköiseksi, että enemmän kuin lehden muoto hyönteisen toimintakykyyn tätä kasvia syötyään vaikutti hyönteislaji, kasvin kasvuolosuhteet ja kerättyjen lehtien kehitysaste sekä ikä.

Kasvinsyöjähyönteisten näkökyvyn ymmärtäminen voidaan hyödyntää integroidussa torjunnassa käyttämällä houkutuskasvustoja (visual traps) pitämään tuhohyönteiset poissa hyötykasvustoista tai suorittamalla torjunta näillä houkutuskasvustoilla (Prokopy 1983).

Kasvinsyöjähyönteiset joko imevät kasvinestettä imevillä suuosillaan tai nakertavat lehtiä tai versoja purentaan sopivilla leuoilla. Ravintonsa ne löytävät näköaistin tai hajuaistinsa perusteella (Bernays ja Chapman 1994). Hyönteisillä on joukko kemoreseptoreita, joiden avulla ne erottavat erilaisia kemiallisia yhdisteitä hyvinkin alhaisina konsentraatioina. Tuntosarvissa ovat haihtuvien aineiden reseptorit, kun taas ei-haihtuvien aineiden reseptorit sijaitsevat lähinnä suuosissa (Swain 1977). Näiden ansiosta hyönteinen tunnistaa pian laskeuduttuaan kasville sen soveltumattomuuden ravintokasviksi. Reseptorien määrä ja erottelukyky

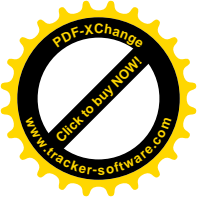


vaihtelevat lajikohtaisesti: perhostoukilla on 20 reseptoria (vanhemmat valitsevat ravintokasvin) ja heinäsirkoilla yli 2000. Monilla hyönteisillä on kyky neutraloida ravinnon myrkylliset aineet; monofageilla eli spesialisteilla ainoan ravintokasvinsa ja oligofageilla tai generalisteilla usean ravintokasvin. Neutralointi on hyönteisille metabolisesti kallista (Swain 1977).

Vähän tyypeä sisältävien kasvien ollessa ravintokasveina kasvinsyöjähyönteisten toukkien pitää usein syödä enemmän ja toisaalta toukkien kasvu ja kehitys on hitaampaa (Awmack 2002, Coviella ja Trumble 1999). Joidenkin toukkien on todettu olleen jopa 40 % pienempiä syötyään vähän tyypeä sisältävää ravintoa (Hunter 2001). Kasvien ikääntyessä typen, fosforin ja fenolien määrä vähenee, mutta selluloosan sekä tanniinien määrät kasvavat (Awmack 2002). Tiivistyneet tanniinit, usein proantosyaaneiksi (Swain 1977) kutsutut, esiintyvät kaikissa kortteita (Equisetaceae) korkeammissa kasviluokissa. Vesiliukoiset tanniinit esiintyvät ainoastaan kaksisirkkaisissa kasveissa, mutta ovat 2-5 kertaa tehokkaampia. Tanniinien konsentraation lisääntyminen kasvin ikääntyessä selittää vanhempien kasvinosien vähäisemmän houkuttelevuuden kasvinsyöjähyönteisille (Swain 1977). Hiilipohjaisten yhdisteiden kuten hiilihydraattien sekä lipidien määrälläkin on vaikutuksensa kasvinsyöjähyönteisiin. Liukoisten hiilihydraattien runsaus voi vaikuttaa negatiivisesti hyönteisiin niiden laimentaessa muita ravinteita ravinnossa, aiheuttaen kompensaatiotarvetta ja syönnin lisääntymistä. Korkea sukroosipitoisuus saattaa toimia myös puolustusmekanismina (Awmack 2002). Sterolit ja lipidit saattavat vaikuttaa positiivisesti kasvinsyöjähyönteisten elinvoimaan ja lisääntymiskykyyn toimiessaan syöntistimulantteina. Vaikutukset ovat kuitenkin erilaiset eri hyönteislahkoilla (Awmack 2002).

2.1 Hyönteisen näköaisti

Vaaleiden kasvien uskotaan olevan alttiimpia hyönteisten hyökkäyksille kuin tavallisten vihreiden kasvien. Hyönteisten ravinnon etsiminen



perustuu pääosin kahteen aistiin; näköaistiin sekä hajuaistiin. Päivällä lentävät hyönteiset löytävät ravinto- tai munintaan sopivan kasvin usein näkönsä avulla (Prokopy 1983). Useimmilla kasvinsyöjähyönteisillä on kahdenlaisia näköreseptoreita, toinen erottaa ultraviolettista (350 nm) vihreään (540 nm) ulottuvan aallonpituuden ja toinen sinisen aallonpituuden (440 nm) (Prokopy 1983, Karageorgou ja Manetas 2005), eivätkä useimmat kasvinsyöjähyönteiset erota ihmissilmälle näkyvää punaista väriä. Lisäksi hyönteissilmä erottaa keltaisen (560–590 nm) ja oranssin (590–630 nm) aallonpituudet (Prokopy 1983). Tietyt perhoset (*Lepidoptera*) pystyvät aistimaan ja suunnistamaan jopa infrapunaista (750 nm) keskiruumiissaan tai pääläellään olevilla reseptoreilla. Hyönteinen ei välttämättä erota värejä, vaan erilaisia aallonpituuksia näiden heijastuessa pinnoilta, tosin perhoset saattavat erottaa lehtien sävyeroja (Prokopy 1983). Ne eivät esimerkiksi muni kasveille, joiden kuviointi (kirjavuus) muistuttaa munintajälkeä (Campitelli ym. 2007 a, Maskato ym. 2014), eivätkä myöskään lehdille, joissa on runsaasti antosyaania (Maskato ym. 2014). Tämä siitä huolimatta, että punaisten lehtien glukosinolaattipitoisuus on korkeampi kuin vihreiden ja glukosinolaatti stimuloi *Pieris* -suvun syöntiä ja munintaa (Justus ym. 2000). Syynä saattavat olla muut sekundaariset metaboliatuotteet, kuten antosyaanipigmentti (Maskato ym. 2014). Kirvojen isäntäkasvin erotuskyky perustunee värien puhtuteen (saturated) tai epäpuhtauteen (unsaturated) heijastavuuden suhteen. Etäämpää hyönteinen hahmottaa mahdollisen ravintokasvin mutta tarkemmat yksityiskohdat se erottaa vasta aivan läheltä (Campitelli ym. 2007 b). Dimensiot, kontrastit taustaa vasten, optiset ominaisuudet ja valon määrä yhdessä kemiallisten ärsykkeiden kanssa auttavat hyönteistä isäntäkasvin löytämisessä (Prokopy 1983). Ansarijauhiainen (*Trialeurodes vaporariorum*) käyttää hajuaistiaan vasta lähellä kohdetta, mutta monilla lajeilla näkö- ja hajuaisti ovat käytössä yhtä aikaa. Ärsykevirta alapuolisesta maisemasta kertoo hyönteiselle lentonopeuden.



Hyönteisten silmä on niin sanottu fasettisilmä, koostuen monista pienistä tasoista, joista jokainen tuottaa oman kuvansa edessä olevasta kohteesta. Tasot eivät fokusoi yhteen kohtaan, vaan näkökulma on laaja ja hyönteinen näkee yhtäaikaisesti moneen suuntaan (Prokopy 1983). Näkökennoston ylälaita näkee hahmoja ylhäällä, esimerkiksi pilvet taivaalla tai tähdet yöllä – auttaen suunnistuksessa. Alempi puolisko silmästä erottaa joitakin värejäkin, muun muassa ultravioletin, mikä auttaa kasvinsyöjähyönteistä löytämään ravintokohteensa, kukan tai lehden. Edessäpäin lentäessään hyönteinen näkee aluksi vain ääriviivoja ja vasta aivan lähellä kohdetta se pystyy tunnistamaan ravintokasvinsa ja erottamaan kasviyksilöitä. Hyönteiset aistivat sekä ylhäältä tulevaa valoa että alhaalta maasta tai kasveilta heijastuvaa valoa ja näiden lisäksi kasvillisuuden läpi kulkevaa valoa (Prokopy 1983).

Ihmisen ja hyönteisen näkökyky ja reseptorit ovat niin erilaiset, että mikä meille vaikuttaa kirkkaalta ja räikeältä, voi hyönteiselle olla vaikeasti havaittava ja mikä meistä vaikuttaisi karkottavalta, voi olla hyönteiselle houkutteleva (Chittka ja Döring 2007).

Hyönteisillä on jopa viidenlaisia fotoreseptoreita toimien eri osissa näkyvän ja UV-valon spektriä. Tietyt perhoset (*Papilio* ja *Pieris*) kykenevät erottamaan punaisen värin, mutta useimmilla hyönteisillä on kuitenkin vain kolmenlaisia reseptoreita erottaen lähinnä vihreän, sinisen sekä ultravioletin (UV) (Lev-Yadun ja Gould 2009, Chittka ja Döring 2007). Väitetään, etteivät ne kykene erottamaan punaista antosyaanin värittämää kasvia (Archetti ym. 2008, Lev-Yadun ja Gould 2009, Karageorgou ym. 2007). Kirvalajeilla tehdyillä kokeilla on todettu niiden hakeutuvan enemmän vihreille kasveille, toisaalta kuitenkin mieluiten kasveille, joilla visuaalinen stimulaatio oli voimakkaampi. Ilmeisesti sekä kromaattinen (aallonpituus) että akromaattinen (valon voimakkuus) tekijä vaikuttivat asiaan (Lev-Yadun ja Gould 2009).



Antosyaanien optiset ominaisuudet saattavat toimia näköviestinä ilmaisten panostuksesta myrkyllisyyteen tai syömäkelvottomuuteen (Lev-Yadun ja Gould 2009). Värin uskotaan myös toimivan suojana häivyttäen kasvit taustaansa vasten ja paljastaen niillä liikkuvat hyönteiset vihollisilleen yhteensopivan värityksen puuttuessa. Väritys saattaa myös jäljitellä haitallisuuden ilmentämistä (Lev-Yadun ja Gould 2009). Antosyaanin värittämät lehdet muistuttavat ravintoarvolta alhaisia, kuolleita tai sairaita lehtiä. Koska useimmilla hyönteisillä ei ole reseptoreita punaisen erottamiseen, punaiset lehdet lienevät hyönteisille vaikeita erottaa (Karageorgou ym. 2007).

Hyönteissilmille on oleellista herkkyys valon aallonpituudelle, varsinkin lehdensyöjähyönteisillä. Kirvoilla, heinäsirkoilla, koloradonkuoriaisella ja kasveja syöville perhostoukilla on kolmenlaisia värireseptoreita, joista kukin on erittäin herkkä UV:n, sinisen ja vihreän aallonpituuksille (Chittka ja Döring 2007). Toukkien näköaisti on yleisesti ottaen heikommin kehittynyt kuin aikuisten, mutta värien erottamiskykyä on silti todettu perhosten ja kovakuoriaisten toukilla (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133). Vihreä lehti heijastaa auringonvalon siten, että kirva näkee sen sinisen, vihreän ja UV:n valoreseptoreilla (Chittka ja Döring 2007). Ihmissilmän näkemä punainen tai vihreä saattaa kirvalle erota vain valon voimakkuudessa. Kirvat näkevät eron vihreän ja punaisen lehden spektrien välillä. Punainen on niille 70 % vähemmän houkutteleva kuin vihreä (Archetti ym. 2008). Keltainen on vuorostaan kirvoille houkuttelevampi kuin vihreä, joten ne esiintyvät runsaammin keltaisilla ja vihreillä lehdillä kuin punaisilla. Hyönteisherbivoria on siten vähäisempää punaisilla lehdillä (Archetti ym. 2008). Mettä etsivät perhoset reagoivat positiivisesti keltaiseen, siniseen ja joissakin tapauksissa ultraviolettiin. Vihreä kuitenkin saa perhosen laskeutumaan sen etsiessä munintakohtaa. Useiden hyönteisten on osoitettu olevan vahvasti mieltyneitä keltaiseen tai oranssiin, jotka ovat samoja värejä kuin useilla hedelmillä. Vihreästäkin lehtipinnasta heijastuva valo sisältää selkeän aallonhuipun keltaisen valon osassa spektriä ja monet



jauhiaiset sekä kirvat houkuttuvat tästä (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

2.2 Punainen

Antosyaanit syntetisoituvat samalla tavoin kuin fenolit ja punaväri on todettu joskus aidosti varoittavan sopimattomuudesta hyönteisten ravinnoksi (Karageorgou ja Manetas 2005), mutta toisaalta kasvin olevan joskus ilman näitä haitallisia yhdisteitä, jolloin kyseessä olisi Batesin mimikry (haitallisen lajin muistuttaminen) puolustautumiskeinona samoin kuin raidallisilla hyönteisillä. Punalehtisyys vaikeuttaa (usein vihreän) kasvinsyöjähyönteisen naamioitumista ja paljastaa sen saalistajilleen (Manetas 2005, Karageorgou ja Manetas 2005).

Punaisen värin on arveltu ilmentävän hyönteisille kasvin pitkälle ehtinyttä tuleentumista, stressiä tai haitallisuutta (Awmack 2002, Manetas 2005, Karageorgou ja Manetas 2005, Maskato ym. 2014) punaisten kasvien usein sisältämien hyönteisille vahingollisten aineiden vuoksi (Maskato ym. 2014). Tuleentunut, pitkälle kehityksessään ehtinyt kasvi ei ole hyönteiselle otollinen ravinto- eikä lisääntymiskohteena, sillä se on jo allokoinut yhteyttämistuotteet lopullisiin käyttö- tai varastointikohteisiinsa (Awmack 2002, Karageorgou ja Manetas 2005). Toisaalta stressistä kärsivän tai lakastuvan kasvin puolustusmekanismit voivat olla alentuneet helpottaen ruokailua ainakin kirvoille (Awmack 2002). Kuivuudesta, kylmyydestä, liiallisesta säteilystä tai ravinnepuutoksesta johtuvan punertumisen kasvissa sanoma on, ettei sen ravintoarvo ole paras mahdollinen (Manetas 2005, Karageorgou ja Manetas 2005). Punalehtisten kasvien sisältämät kemikaalit (fenoliyhdisteet: fenolihapot, flavonoidit ja antosyaanit) ovat joskus hyönteisille jopa kuolettavia (Maskato ym. 2014), vaikka ne eivät olekaan selkärangaisille haitallisia (Karageorgou ja Manetas 2005).

Punainen väri on useimmiten peräisin antosyaanista (flavonoidi), juurikkailla (*Beta* L. -suku) tosin betaliinista (typpipitoinen alkaloidi). Punaväri voi sijaita eri kasveissa eri syvyyksissä lehden rakenteissa, ei



kuitenkaan koskaan kloroplasteissa (Manetas 2005). Yleisimpiä punaisen värin aiheuttajia, antosyaaneja, on esimerkiksi basilikan (*Ocimum basilicum* L.) lajikkeesta 'Dark Opal' löydetty 14 erilaista, jotka koostuvat 11 eri syanidiinipohjaisesta pigmentistä ja kolmesta peonidiinipohjaisesta pigmentistä (Phippen ja Simon 1998). Muita punaista väriä kasveilla tuottavia aineita ovat savikkakasvien betalaiini, 3-deoksi-antosyanidiini, rhodoxantiini, anhydroescholtzxantiini sekä Caryophyllales -heimon betasyaani (Archetti ym. 2008).

Kitkeryys kasveissa johtuu tanniineista ja alkaloidien, terpenoidilaktonien ja syanogeenisten glykosidien karvaudesta (Swain 1977). Jotkut näistä, eivät suinkaan kaikki, ovat myrkyllisiä. Useiden nisäkkäiden maksan rodaneesi - entsyymi kykenee neutraloimaan syanogeneesiin tuottaman vetysyaanin (Swain 1977). Punainen väri aiheuttaa usein kitkeryyttä kasviin, mutta onko aina näin? Usein lehtien punaisuus rajoittuu tiettyyn kasvu- tai kehitysvaiheeseen (nuoret lehdet; syysväri) tai johtuu ulkoisista olosuhteista kuten ravinnepuutoksesta (voi olla maaperän pH:n aiheuttama), kylmyydestä, vahingoittumisesta tai voimakkaasta säteilystä ja on tällöin ohimenevä ominaisuus (Manetas 2005, Swain 1977, Karageorgou ja Manetas 2005). Joillakin kasveilla punainen väri on kuitenkin pysyvä ominaisuus. Syysvärien muodostumisen uskotaan (Maskato ym. 2014) kuluttavan kasvin voimavaroja samoin kuin hyönteisten herbivoriakin ja yhteyttämistuotteiden allokoimisen punaisen suojaväriytyksen muodostukseen vähentävän kasvin kasvua. Karageorgou ja Manetas (2005) eivät kuitenkaan saaneet tutkimuksessaan tälle todistetta.

Antosyaanien aiheuttamia värejä esiintyy juurissa, lehdissä, oksissa, varsissa ja kukissa (Schaefer ja Rolshausen 2005). Antosyaanit akkumuloituvat varsien, kukkien ja lehtien epidermiaaliseen kerrokseen (Phippen ja Simon 1998). Syntynyt väri on usein punainen, mutta sen sävyyn ja voimakkuuteen vaikuttavat metalli-ionit ja glykosylaatio (Archetti ym. 2008), vakuolin pH, muiden väriaineiden ilmentyminen, antosyaanien kemiallinen rakenne sekä solunsisällön väkevyys (Lev-Yadun ja Gould



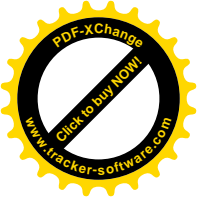
2009). Lopputuloksena väri voi olla vaaleanpunaisesta sinisen kautta jopa mustaan. Antosyaanien on todettu vaikuttavan kasvin kasvuun, kehitykseen sekä lisääntymiseen (Phippen ja Simon 1998). Antosyaanin synnyttämisen uskotaan kuluttavan kasvin yhteyttämistuotteita (Lev-Yadun & Gould 2007, Karageorgou ym. 2007) tehden kasvusta heikomman ravintosisällöltään (Archetti ym. 2008). Karageorgou (2007) esittää lehtien antosyaanien imevän näkyvää valoa olematta yhteyttäviä. Näin ollen ne kilpailisivat klorofyllien kanssa fotonien vangitsemisesta, aiheuttaen yhteyttämiskustannuksen sekä antosyaanien muodostumiskustannuksen (Karageorgou ym. 2007). Chittkan ja Döringin mukaan (Chittka ja Döring 2007) kasvimassaan perustuva kustannus tuottaa antosyaaneja ei erityisesti veisi kasvin voimavaroja ja voisi olla edullisempaa kuin puolustusaineiden tuottaminen.

Antosyaanit suojaavat lehtikudosta liialta auringonvalolta (Archetti ym. 2008, Chittka ja Döring 2007, Schaefer ja Wilkinson 2004, Schaefer ja Rolshausen 2005) toimien antioksidanteina (Chittka ja Döring 2007, Phippen ja Simon 1998) syöden aktiivisia happiradikaaleja (ROS = Reactive Oxygen Species) (Lev-Yadun ja Gould 2007, Schaefer ja Wilkinson 2004, Phippen ja Simon 1998, Schaefer ja Rolshausen 2005, Karageorgou ym. 2007) ja ne ovat tunnetuin flavonoidiryhmä. Flavonoidit kuten fenolit ja antosyaani syntetisoidaan saman synteessin kautta (Schaefer & Rolshausen 2005) – fenyylipropanoidibiosynteesi (Karageorgou ym. 2007) – ja siksi yleisesti uskotaan signaalin olevan aito, eli että punainen väri tarkoittaa korkeaa fenolitasoa (Karageorgou ym. 2007). Fenoleja pidetään potentiaalisina hyönteisten karkottajina (Archetti ym. 2008, Lev-Yadun ja Gould 2009, Karageorgou ym. 2007) ja myös antosyaanien oletetaan puolustavan kasveja herbivorihyönteisiä vastaan (Archetti ym. 2008, Schaefer ja Rolshausen 2005), vaikkei kokeissa puhtailla antosyaaneilla syöttäminen ole vaikuttanut toukkien elävyyteen (Schaefer ja Rolshausen 2005).



Usein ikivihreät kasvit talvella, varjokasvit, tai nuoret kasvinosat ovat punertavia, mahdollisesti suojaksi herbivorihyönteisiä tai auringonvaloa vastaan (Archetti ym. 2008). Nuoret kasvinosat tarvitsevat suojaa koska valon vangitsemiskyky kehittyy ennen hiilidioksidin assimilaatiokykyä (Archetti ym 2008). Nuoret osat ovat myös haavoittuvaisempia ja alttiimpia kasvinsyöjien ruokailulle kuin vanhat. Antosyaanit usein korreloivat kasvin resistenssin kanssa (Archetti ym. 2008, Lev-Yadun ja Gould 2007, Schaefer & Rolshausen 2005, Karageorgou ym. 2007), mutta nuorissa punaisissa lehdistä vastaava korrelaatio on hyvin heikko (Karageorgou ym. 2007). Niissä toteutuu paremmin oletus etteivät hyönteiset erota punaisia lehtiä, tai etteivät ne pysty piiloutumaan punaista taustaa vasten (Karageorgou ym. 2007).

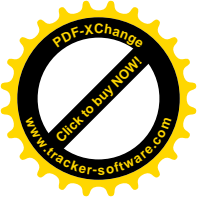
Punaiseen väriin liittyvää resistenssiä (periytyy dominantin R1 -geenin myötä (Gallun ja Gush 1980; s. 74–75, Niles 1980; 352–355)) todettiin esiintyvän puuvillalla (*Gossypium sp.*) jo 1920-luvulla suoritetuissa kokeissa (Isely 1928 (Niles 1980; 352–355)), jolloin todettiin puuvillakärsäkkään (*Anthonomus grandis*) valitsevan vihreän kasvin silloin kun molempia tyyppisiä – voimakkaan punaisia ja vihreitä – oli tarjolla (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42, Gallun ja Gush 1980; s. 74–75, Niles 1980; 352–355). Tuoreemmissa kokeissa on todettu myös heikommin punaisten lajikkeiden toimivan (R2-alleeli) samoin tuhoja vähentävästi (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42, Gallun ja Gush 1980; s. 74–75). Punainen ominaisuus on kumulatiivinen tehossaan (Niles 1980; 352–355). Joko väri tai heijastuneen valon voimakkuus vaikutti isäntäkasvin valintaan kirvalla *Brevicoryne brassicae*; punakaalit houkuttivat kirvoja vähiten, mutta niille päätyessään kirvojen lisääntyminen oli tehokkainta (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42). Kahukärpänen (*Oscinella frit*) vältti kauralajikkeita, joilla on punaiset ja nukkauset tyvet (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42). Punalehtisen kasvin oletetaan olevan hyönteisille näkymätön, koska useilla hyönteisillä ei ole näköreseptoreita punaiselle värille (Schaefer ja Wilkinson 2004)



Vihreisiin kasveihinkin syntyy lauhkeissa ja viileissä ilmastoissa antosyaanien muodostamaa punaista syysväriä (Archetti ym 2008, Lev-Yadun ja Gould 2009, Lev-Yadun ja Gould 2007) lehtien vanhenemisen aikana (Lev-Yadun ja Gould 2007) suojaamaan kasvia fotoinhibitiolta, jossa kylmyys ja kirkas valo yhdistettyinä heikentävät fotosynteesiä (Chittka ja Döring 2007). Yhteyttäminen ei välttämättä lopu lehtien väritymiseen. Antosyaanin muodostuminen saattaa pikemminkin lisätä yhteyttämistä (Schaefer ja Wilkinson 2004). Antosyaanit saattavat myös suojata fotosynteesikoneiston purkamista toimien haitallisten aineiden, kuten raskasmetallien, kerääjinä, lehtien lämmittäjinä ja haitalliselta UV-säteilyltä suojaavana (Chittka ja Döring 2007), sekä auttaa typen talteenotossa (Lev-Yadun ja Gould 2009). On kuitenkin epäilty hapettumista estävää vaikutusta ainakin lehdissä, joissa antosyaani ei sijaitse lähellä kloroplastien happiradikaalien lähdettä (Karageorgou ym. 2007). Punainen väri saattaa myös olla aiemmin tuotettua ja tulla esiin klorofyllin hajotessa (Chittka ja Döring 2007). Syysväriytykseen on kuusi mahdollista syytä: viestintä puolustuskyvystä, toiminta varoitusvärinä, hyönteisten piiloutumishaitta, haitta-aineista varoittaminen, heikentynyt ravinnetaso (Lev-Yadun ja Gould 2007), ja se ettei hyönteisen kannata asettua kasville, joka näyttäisi pian lehtensä varistavalta (Archetti ym. 2008, Lev-Yadun ja Gould 2009, Lev-Yadun ja Gould 2007). Antosyaania sisältävät lehdet heijastavat vähemmän sekä vihreää valoa että UV-säteilyä. Ne houkuttavat mahdollisesti vähemmän herbivoreja, koska ne eivät saa aikaan herbivorin vihreän valon reseptorin ärsytystä samoin kuin vihreät lehdet (Lev-Yadun ja Gould 2009).

2.3 Vihreä

Ravintoa etsivät herbivorihyönteiset etsivät vihreitä kohteita eli sellaisia, jotka antavat vihreän reseptoreille suuremman ärsykkeen kuin muille (Chittka ja Döring 2007). Useimpia näistä houkuttavat lehdet, jotka heijastavat 500–600 nm aallonpituutta (keltainen – vihreä). Tärkeintä ei ole laji vaan kasvin oikea kehitysaste. Usein terveet tumman vihreät kasvit



houkuttavat hyönteisiä vähemmän kuin esimerkiksi stressitekijöiden kellastuttamat yksilöt (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42).

Hyönteisvahingot ovat ilmeisen runsaampia vihreissä kuin punaisissa, nuorissa kasvinosissa. Kirvat näkevät eron vihreän ja punaisen lehden spektrien välillä. Punainen on niille 70 % vähemmän houkutteleva kuin vihreä. Keltainen on vuorostaan kirvoille houkuttelevampi kuin vihreä. Kirvat esiintyvät runsaammin keltaisilla ja vihreillä lehdillä kuin punaisilla. Hyönteisherbivoria on yleisesti vähäisempää punaisilla lehdillä. (Archetti ym 2008)

Monilla herbivorihyönteisillä on kasvin lehtiä muistuttava suojaväritys, usein vihreä, piilottamaan ne saalistajiltaan (Lev-Yadun ja Gould 2009, Karageorgou ja Manetas 2005). Optimaalisin taustan suojaväri monille herbivorihyönteisille olisi siten vihreä, ja esimerkiksi monille kirvoille, toukille ja heinäsirkoille on kehittynyt vihreä suojaväritys. Monien kasvisyöjähyönteisiä saalistavien eläinten, kuten lintujen näkökyky on erittäin hyvä, mikä on eduksi kasveille, mutta pakottaa hyönteisen suojautumaan (Lev-Yadun ja Gould 2007).

2.4 Keltainen

Syksyllä esiintyvien kirvojen on todettu suosivan kellastuvia kasveja punertuvien sijaan (Manetas 2005). Hyönteiset vioittavat useammin nuoria vihreitä tai jopa keltaisia lehtiä kuin nuoria punaisia lehtiä (Karageorgou ja Manetas 2005) ja lehdissä niitä houkuttaa mahdollisuus ruokailuun (lehdet ovat pehmeämpiä nuorina) sekä toisaalta lisääntymismahdollisuus. Hyönteiset etsivät jälkeläistensä kehitykselle sopivimmat kasvinosat munintakohteikseen. Useimmiten hyönteisten kohteeksi valikoituu näköärsykkeen perustella vihreä tai ihmissilmälle keltaisena näkyvä kasvinosa (Manetas 2005, Karageorgou ja Manetas 2005). Syynä saattaa olla suurempi typpi/hiili-suhde. Joka tapauksessa valinta osuu harvemmin tummaan kasvinosaan.



Hyönteisen silmän toiminnasta johtuu, että se kykenee erottamaan selkeämmin yksittäisen kasvin tai kasviryhmän kuin muiden kasvien (myös rikkakasvit) seassa kasvavan kasvin. Tämä pätee muun muassa kirvoihin, jauhiaisiin ja *Pieris* -suvun perhosiin. Vaalea, kirkas väri auttaa niitä erottamaan kasvin muiden seasta, minkä vuoksi nämä herkimmin ruokailevat vaaleilla kasveilla. Vaaleus ilmentää myös kasvin soveltuvuutta ravinnoksi ja korkeaa typpipitoisuutta (Prokopy 1983) kasvinneesteessä. Voimakkaassa kasvussa oleva kasvi on heleämmän vihreä tai jopa keltainen kuin kasvunsa lopettanut ja mahdollisesti jo lakastumaan rupeava kasvi. Vegetatiivinen kasvi on myös korkean typpipitoisuutensa vuoksi sopivampi ravintokasvi useimpien kasvinsyöjähyönteisten toukille (Awmack 2002), joten hyönteiset pyrkivät munimaan vaaleille kasveille. Toukkien ravinto voisi loppua kesken, jos hyönteinen munisi munansa kasvunsa päättäneelle ja lakastuvalle kasville. Vaaleus eli klorofyllin vähyys voi indikoida myös toisenlaista soveltuvuutta: virustautisuutta (Prokopy 1983). Kokeissa (Jiu ym. 2007) on todettu, että etelänjauhiainen *Bemisia argentifolia* (*B. tabaci* B-biotyyppi) munii useimmiten viroottisille kasveille tai jopa siirtää virusta uusiin kasveihin lisääntymistuloksen edistämiseksi. Syynä tähän on *Bemisia argentifolian* tästä saama kelpoisuusetu. Viruksen vaivaamalla isäntäkasvilla hyönteisen muninta on runsaampaa, munamäärät suurempia ja lisäksi sen toukka kehittyy nopeammin ja suuremmaksi ja sen kuolleisuus on selkeästi pienempi (Awmack 2002).

Karotenoidit muodostavat kelta-oranssit värit ja ne sijaitsevat plastideissa. Ne ovat yleisiä valokasveilla (fototrofeilla) (Archetti ym. 2008). Kaikki pigmentit eivät muodostu lehtiin vasta syksyllä ja stressitilanteissa, vaan osa niistä on ollut kasvissa koko ajan osana fotosynteesikoneistoa (ksantofyllit) ja ne esiintyvät kaikissa vihreissä lehdissä. Pigmentit tulevat esiin klorofyllin hajotessa, eikä näiden muodostuminen ole vienyt kasvin energiavaroja (Chittka ja Döring 2007).

Kun vihreä on hyönteisille houkuttelevampi kuin punainen, keltainen on vuorostaan kirvoille houkuttelevampi kuin vihreä. Keltainen lehti aiheuttaa



kirvoille vielä voimakkaamman näköärsyksen kuin vihreä. Kokeissa kirvat mielellään yrittivät pistää imukärsänsä pintoihin, jotka heijastavat valoa vihreän ja keltaisen välillä (Chittka ja Döring 2007).

Vaikka toisaalta katsotaan, että keltaiseksi värittyminen viestii kasvinsyöjille hyvästä puolustuskyvystä kasvilla (Schaefer ja Rolshausen 2006) ja on myös varoitusväri (Lev-Yadun ja Gould 2007), keltainen väri antaa hyönteisille myös stimulaation ja toimii vahvana houkuttimena monille hyönteisille. Tästä johtuu, että kelta-ansat toimivat niin tehokkaasti (Lev-Yadun ja Gould 2007). Vihreästä lehtipinnasta heijastuva valo sisältää selkeän aallonhuipun keltaisen valon osassa spektriä ja monet jauhiaiset sekä kirvat houkuttuvat tästä. Nämä hyönteiset laskeutuvat herkästi keltaisille papereille tai keltaisiksi maalatuille pinnoille viitaten siihen, että tällaiset pinnat ovat erityisen houkuttelevia niille (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Kenttäkokeissa on todettu nuorten keltaisten lehtien houkuttavan kirvoja, mutta nuorten punaisten lehtiä jäävän huomaamatta. Puissa on huomattu kirvojen kansoittavan keltasävyisiä puita. Keltaisuus saattaa toimia signaalina kirvoille syömäkelpoisuudesta ja puolustuskeinojen puuttumisesta. Eräät kirvalajit näyttäisivät kuitenkin suosivan vihreitä kasveja ennen keltaisia (Chittka ja Döring 2007). Kellastumisen uskotaan toimivan merkinä kirvoille kasvilla vapaina aminohappoina esiintyvästä tyydestä ollen helposti saatavilla. Keltaisen on myös esitetty toimivan antosyaanin tavoin suojana runsasta auringon säteilyä vastaan (Lev-Yadun ja Gould 2007).

2.5 Muut värit sekä kirjavuus ja räikeys

Ruskettuminen indikoi solun kuolemaa ja ilmentää kinonien polymerisaatiota. Erityisesti aluskasvillisuudessa kehittyvä ruskea lehden väri syntyy tanniineista yhdessä karotenoidien kanssa tai antosyaaneista klorofyllin kanssa (Archetti ym. 2008). Tämä ruskea sävy muistuttanee lakastuvia lehtiä ja vaikuttanee herbivoreista syömäkelvottomalta.



Sairastuneen näköiset kasvit jäävät todennäköisesti rauhaan sekä laiduntajilta että hyönteisiltä (Lev-Yadun ja Gould 2009).

Antosyaanit näkyvät yleensä punaisina, mutta solunsisällön happamuuden, väkevyyden tai muun kemiallisen rakenteen sekä yhdistymisen toisiin väreihin myötä tulos voi olla vaaleanpunainen, purppura, sininen, oranssi, ruskea tai jopa musta. Muutkin pigmentit kuten karotenoidit, apokarotenoidit, betalaiinit (kaktukset), tiivistyneet tanniinit, kinonit ja fytomelaniinit vaikuttavat kasvin väritykseen (Lev-Yadun ja Gould 2009).

Kirjavalehtisyyden on todettu korreloivan vähentyneeseen herbivoriaan (Lev-Yadun ja Gould 2009). Aluskasvillisuudessa kasvit ovat lauhkeassa ja trooppisessa ilmastossa usein kirjavia. Ne ovat joko vihreän ja valkoisen kirjavat tai täplitetty punaisella, purppuralla tai jopa mustalla, antosyaanin kertymisen mukaan. On arvioitu hajavalossa kasvavien kasvien ääriviivojen häipyvän kirjavuuden myötä erityisesti värisokeille selkärankaisille laiduntajille (Lev-Yadun ja Gould 2009), kuten hirvieläimille.

Kasvin lehden eri osien – ylä- ja alapinnat, suonet, lehtiruoti – erotessa värityksessä toisistaan ei vihreän hyönteisen naamioituminen lehdelle liene toimiva (Lev-Yadun ja Gould 2009). Tilanne on usein erilainen lehtien usein toisistaan väriltään poikkeavilla ylä- ja alapinnoilla. Vaikka lehti olisi päältä vihreä, se voi olla alta sinertävä, ruskea, vaaleanpunainen tai punainen, valkoinen, keltainen tai vain erisävyinen vihreä. Hyönteinen ei useinkaan kykene sulautumaan taustaansa lehden molemmilla pinnoilla (Lev-Yadun & Gould 2007).

Kasvien värikkäät pigmentit haittaavat muutenkin hyönteisten piiloutumista taustaansa vasten, jolloin ne ovat alttiina saalistukselle. Siksi ne välttävät kasvinosia, joilla väritys on niille epäedullinen. Lehti voi olla suojassa herbivorialta estämällä suojautumisen, olemalla räikeän ja varoittavan värinen, tai muistuttamalla syötäväksi kelpaamatonta kasvin lehteä. Kasveja suojaavat siis sekä karotenoidien että antosyaanien



synnyttämät värit, että myös vaalean vihreät värit ja valkoiset kuvioinnit (Lev-Yadun & Gould 2007).

Aposemaattinen (räikeä) väritys saattaa ilmentää kasvin myrkyllisyyttä (Chittka ja Döring 2007) ja myös tuoksun aposemaattisuudella saattaa olla sama merkitys (Lev-Yadun ja Gould 2009). Lehtien aposemaattisuus ei ole välttämättä aito varoitus kertomaan kasvin olevan suojattu (Lev-Yadun ja Gould 2007). Aposemaattisuus, lakastuvaa kasvia muistuttaminen, naamioituminen taustaa vasten, kirjavalehtisyys aluskasvillisuudessa, hyönteisen piiloutumisen esto kasvia vasten, herbivorin houkuttaminen nuorten kasvinosien pariin säilyttäen arvokkaammat vanhat lehdet tai viestien syysväreillä, että kasvi on hyvin puolustautunut, ovat kaikki poikkeavalla väriyksellä aikaan saatavia ominaisuuksia (Lev-Yadun ja Gould 2009).

2.6 Hyönteisen suunnistus, isäntäkasvin valinta ja muninta

Fysikaaliset tekijät isäntäkasvin etsinnässä ovat näköaistimukset ja tuntoaistin ärsykkeet. Hyönteiset näkevät värejä, etenkin ollessaan liikkeellä (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133). Lentonopeus kuitenkin vaikuttaa näköhavainnon laatuun (mehiläiset). Kasvien väri (tai heijastuneen auringonvaloon voimakkuus) ja muoto saattavat jo etäältä vaikuttaa generalistihyönteisten ravintokasvin valintaan (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42, Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133). Useimpia herbivorihyönteisiä houkuttavat lehdet, jotka heijastavat 500–600 nm aallonpituutta (keltainen – vihreä) (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42).

Tärkeintä ei ole kasvilaji vaan kasvin oikea kehitysaste. Usein terveet tumman vihreät kasvit houkuttavat hyönteisiä vähemmän kuin esimerkiksi stressitekijöiden kellastuttamat yksilöt. Empiiriset kokeet tarhapavuilla osoittivat tämän kirvoilla sekä muillakin hyönteisillä (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42).

Poikkeavan värinen kasvi ei antane hyönteiselle sen tarvitsemaan kryptistä suojaa jolloin se olisi alttiina saalistukselle. Hyönteiset, jotka aistivat



punaisen valon spektriä, saattavat laskeutua harvemmin punaisille kasveille. Monilla kasveilla nuoret punaiset versot saavat olla paremmin hyönteisiltä rauhassa kuin vihreät (Schaefer ja Rolshausen 2005). Kirvaa ei todennäköisesti suunnistuksessa ohjaa väri vaan mahdollisesti haihtuvat aineet, volatiilit. Signaali saattaa olla hajuun perustuva (Schaefer ja Rolshausen 2006).

Muoto ja ääriviivat voivat myös vaikuttaa hyönteisen suunnistukseen. Useiden perhoslajien toukat liikkuvat kohti pystysuoria kohteita etsiessään ravintoa ja hepokatit ja sirkat ovat todistettavasti viehtyneitä pystyraitaisiin kohteisiin, mutta eivät vaakasuoriin muotoihin (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Herbivorihyönteinen tarvitsee typpeä ja vettä, jotka kumpikin vaikuttavat hyönteisen kasvuun ja ravintokasvin valintaan. Nuoret lehdet ovat suosituimpia korkean ravinnepitoisuuden sekä pehmeämmän rakenteen vuoksi. Lehtien kasvunopeus saattaa korreloida ravinnon laadukkuutta. Kokeessa (Coley ym. 2006) oletettiin ravinnon laadun korreloivan toukkien kasvuvauhtiin ja suojautumiseen luontaisilta vihollisilta. Nopeakasvuiset toukat ovat vain vähän aikaa alttiina luontaisille vihollisille. Typpi- ja vesipitoisuus vähenevät lehden ikääntyessä. Kasvinesteitä imevät hyönteiset saattavat kerääntyä hedelmiä kypsyttävälle kasveille näiden kuljettaessa kasvinesteessä paljon ravinteita kehittyville hedelmille ja siemenille. Näin pariutuvien kirvojen ravintotilanne olisi optimaalinen (Schaefer ja Rolshausen 2006).

Muninta on runsaampaa kiiltävillä kasveilla kuin vahapintaisilla ja useimmiten munitaan lehden alapinnalle adheesion avulla (Justus ym. 2000). Hyönteisillä kasvin tuntuma vaikuttaa viime kädessä tunnistukseen ennen munintaa. Naaras suostuu munimaan, jos pintarakenne on oikea. Munanasettimessa on usein mekanoreseptoreita ja useimmiten asetin antaa vain tuntoon perustuvaa informaatiota. Tärkeitä ominaisuuksia ovat karvaisuus tai sileys (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

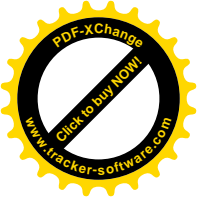


Tuoksuaineet vaikuttavat haluun ruokailla ja munia ja ovat isäntäkasvin tunnistuksen seuraava vaihe. Viimeinen vaihe on kasvin haihtumattomien yhdisteiden kemikaalien kontaktista seuraava hyväksyntä tai hylkäys. Jotkut hyönteiset suunnistavat aktiivisesti ravintokasville tuoksun ohjaamina (Beck & Schoonhoven 1980; s. 122–133). Glukosinolaatit stimuloivat *Pieris* L. -suvun perhosten munintaa ja näiden lisäksi lehden pinnoilla on muita polaarisia yhdisteitä kuten sokereita ja aminohappoja (Justus ym 2000). Kemotaktinen suunnistus tuoksun lähteen ääressä tekee etsinnästä paljon määrätietoisempaa ja vahva tuoksuärsyke voi jopa estää hyönteisen liikkumisen ja pakottaa sen laskeutumaan. Monet ruokailuärsykkeet ovat ravintoaineita, kuten sokereita ja aminohappoja (Beck & Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Erikoistumista ravintokasviin ja ravintokasvin valintaa ohjaavat yleisesti hyönteisen vasteet tiettyjen kasviheimojen kemikaaleihin. Näitä kemikaaleja ovat terpeenit, flavonoidit, alkaloidit sekä nitrilit, jotka toimivat tunnistusstimulantteina. Monet hiilihydraatit kuten sukroosi, glukoosi ja fruktoosi stimuloivat generalistihyönteisten ruokailua. Lisäksi monet aminohapot, sterolit, fosfolipidit ja muutkin kemikaalit vaikuttavat ruokailukäyttäytymiseen. Nämä ovat samalla tärkeitä ravintoaineita. Tunnistusstimulantit kiihottavat aloittamaan ruokailun, mutta yleisyhdisteet, kuten sukroosi, stimuloivat ruokailun jatkamista. Kaaliperhosella sinigrin (sinappiöljyn glykosidi) saa toukan puremaan innokkaasti, mutta sokerit saavat sen jatkamaan syöntiä. Eri hyönteislajit käyttäytyvät samalla ravintokasvilla eri tavoin hyläten tai hyväksyen tämän, johtuen eri lajien erilaisista tavoista reagoida mainittujen stimulanttien keskinäiseen suhteeseen (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

2.7 Muun kuin värin vaikutus

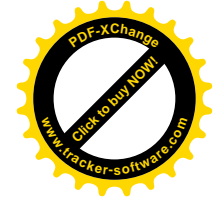
Kasveilla on keinoja puolustautua. Fyysisiä puolustuskeinoja ovat värin lisäksi lehden kovuus, tahmeat karvat (trikomit), piikit, vahakerros sekä paineistetut suonet (kasvineste sinkauttaa hyönteisen pois lehdeltä (<http://www.pngplants.org/PNGtrees/DataDictionary/leafFeat.html>)).



Lehden kovuus on tehokas puolustuskeino. Hitaasti kehittyvät lehdet sisältävät todennäköisesti enemmän karkottavia aineita tai myrkyllisiä sekundaarimetaboliitteja (Coley ym. 2006). Isäntäkasvin lehtipinnan vaha vaikuttaa kaalikoin munintapaikan valintaan. Muninta on runsaampaa kasvinsuojeluainein käsitellyllä kaalilla, jolla vahapinta on ohentunut. Muninta on runsaampaa kiiltävillä kasveilla kuin vahapintaisilla ja enin osa munitaan alapinnalle. Lehden tuntuma saattaa olla tärkeä munintakohdan valinnassa. Vaha vaikuttaa valon heijastumiseen ja hyönteisen kykyyn tarttua alustaansa. Lehden pinnan polaarisuus saattaa stimuloida munintaan (vaha on ei-polaarinen) samoin kuin vahojen sisältämät isotiosyanaatit (Justus ym. 2000).

Kemiallisia keinoja puolustautua ovat ravintosisällön heikentäminen (vaikuttavia aineita voisivat olla fosfori, hivenaineet ja ei-rakenteelliset hiilihydraatit (Coley ym. 2006)), myrkyllisyys, ruoansulatuksen haittaaminen esimerkiksi alentamalla ruoansulatuskanavan pH:ta, pahanmakuisuus ja hyönteisen kasvun hidastaminen altistaen tämän pedoille ja loisille (Treutter 2006). Evoluution oletetaan johtaneen kasvia suojaamaan itsensä kasvinsyöjiltä alentamalla ravintosisältöänsä. Kasvinsyöjät vuorostaan saattavat kompensoida heikompaa ravintosisältöä syömällä enemmän. Tämä johtaa joko hyönteisen hitaampaan kehitykseen tai suurempaan ravinnon kulutukseen. Aiheutettu vahinko voi täten lopulta olla kasville suurempi. Pidempi ravinnonhankinta-aika altistaa toukan pidemmän aikaa myös luontaisille vihollisille. Alhaisen typpipitoisuuden on todistettu (Slansky ja Feeny 1977) lisäävän ravinnon kulutusta aiemmissa kokeissa (Loader ja Damman 1990).

Monet kemialliset haitta-aineet ovat muita kuin kasvuun ja kehitykseen allokoituja aineenvaihduntatuotteita, sekundaarimetaboliitteja. Flavonoidit ovat sekundaarimetaboliitteja, jotka ovat kasveille hyödyllisiä aktiivisina yhdisteinä, stressiltä suojaavina aineina, houkuttimina tai herbivorialta suojaavina. Niiden rooli kasvin puolustautumisessa on merkittävä (Treutter 2006). Oletus on, että kasvin allokoimassa hedelmien kehittämiseen sen



puolustusmekanismit saavat vähemmän energiaa kehitykseensä (Schaefer ja Rolshausen 2006).

Epäsuorasti kasvi pystyy puolustautumaan viestimällä tai tarjoamalla palveluja petohyönteisille. Keinona tähän on viestintä haihtuvilla yhdisteillä (volatiilit) vahingoittumisesta tai olostä hyökkäyksen alaisena. kasvien oletetaan signaloivan varoitusta tultuaan kirvojen kansoittamiksi (Schaefer & Rolshausen 2006). Ravinnon (esimerkiksi mesiäiset) tai suojan tarjoaminen petohyönteisille auttaa pitämään herbivorihyönteiset loitolla.

Kasvin tuoksulla (volatiilit) on oma merkityksensä, mutta eläinlajit eivät reagoi samalla tavoin eri haihtuviin aineisiin tai näiden yhdistelmiin (Lev-Yadun ja Gould 2009). Lähietäisyydellä tuoksut auttavat hyönteistä tekemään valinnan isäntäkasvien välillä (Beck & Schoonhoven 1980; s. 122–133, Schaefer ja Rolshausen 2006). Ristikukkaisissa kasveissa on useita kemiallisia ja fysikaalisia eroja. Glukosinolaatit stimuloivat *Pieris* -suvun perhosten munintaa. Näiden lisäksi lehden pinnoilla on muita polaarisia yhdisteitä kuten sokereita ja aminohappoja, joiden tiedetään stimuloivan hyönteisten makureseptoreita. Parafiinit yhdessä glukosinolaattien kanssa lisäävät kaalikoin munintaa. (Justus ym. 2000)

2.8 Herbivorihyönteisen fitnessi eli kelpoisuus

Tautien, petojen ja loisten lisäksi ravinnolla on suuri merkitys herbivorihyönteisen terveyteen, elinvoimaisuuteen ja lisääntymiskykyyn, eli fitnessiin. Ruokailusta tai muninnasta heikkolaatuisille kasveille seurauksena voisi olla syöjälle tai sen jälkeläisille alentunut kelpoisuus. Värit kuitenkin indikoivat puille syksyllä siirtyville hyönteisille (kirvat) soveliaasta muninta-ajankohtaa (Archetti ym. 2008). Kirvasaastunta (tai muut yhtäläissiipiset) karkottaa muut ravintokasvin hakijat sekä heikentää hyönteistoukkien kehitystä ja estää munintaa (Finch ja Jones 1989). Kirvatkin välttävät kasveja, joilla jo esiintyy kirvoja ja liikakansoituksen sattuessa siirtyvät dispersion myötä muille kasveille (Lev-Yadun ja Gould 2009).



Generalistihyönteisten arvellaan olevan herkempiä sekundaarimetaboliiteille kuin specialistihyönteisten. Hidas kehitys altistaisi toukat näiden luontaisille vihollisille ja saisi ne hakemaan parempaa suojautumiskeinoa ravinnosta. Sekundaarimetaboliitit ja ravinteet sanelevat kasvinsyöjähyönteisen kasvunopeuden (Coley ym. 2006). Kasvien lehdissä on useita kemiallisia ja fysikaalisia puolustuskeinoja kasvinsyöjiä vastaan. Nämä kemikaalit vaikuttavat hyönteisen kasvuun ja kelpoisuuteen. Perhosilla nopea kasvu johtaa suureen kokoon koteloitumisvaiheessa ja lopulta lisääntyneeseen ja kohentuneeseen munimiskykyyn. Toukkavaiheen kesto vaikuttaa saalistusriskiin. Kasvien ominaisuudet, jotka hidastavat toukan kasvua toimivat kasvin puolustuksessa altistaen toukan saalistukselle ja loisinnalle pidempään (Coley ym. 2006).

Fenolit yhdistetään usein hyönteisiä karkottavaan kitkeryyteen sekä kykyyn saostaa proteiineja hyönteisen ruoansulatuskanavassa (Manetas 2005). Tanniinit estävät proteaaseja ja vähentävät proteiinien saantia ruoasta hyönteisillä (Swain 1977, Maskato ym. 2014). Fenoleja useammin tanniinit (tärkein puolustusmetaboliitti (Swain 1977)) ja fenolihapot heikentävät kasvinsyöjähyönteisen kasvua ja terveyttä (Manetas 2005, Maskato ym 2014). Niiden tarkoitus on suojata kasvia kilpailijoita, kasvinsyöjiä sekä patogeenejä vastaan (Maskato ym 2014). Muita kasveja suojaavia sekundaarituotteita ovat muun muassa alkaloidit, aminohapot, kumariinit, syanogeeniset glukosidit, lipidit sekä terpeenit (Swain 1977). Sekundaarituotteita on eniten kasvin pintakerroksissa, mutta näiden konsentraatio ja sijoittuminen vaihtelevat kasvin kehitysvaiheen ja jopa vuorokaudenajan mukaan. Lisäksi tähän vaikuttavat ilmastolliset ja maaperään liittyvät tekijät, mikro-organismit, laiduntavat eläimet ja jopa ilmansaasteet (Swain 1977).

Kasvin aineenvaihdunnassa sekundaarisina syntyneitä yhdisteitä nimitetään myös allelokemikaaleiksi koska ne ovat yhden lajin tuottamia muita kuin ravintokemikaaleja ja ne vaikuttavat toisen lajin kasvuun,



terveyteen, käyttöön tai populaatiobiologiaan. Allomonit antavat edun aineen tuottajalle - kasville - ja kairomonit antavat edun sen syöjälle – herbivorihyönteiselle. Kairomoneja ovat myös aineet, jotka houkuttelevat hyönteisen pölyttäjäksi kasville. Allelokemikaalien vaikutus hyönteiseen voi kohdistua käyttöön tai aineenvaihduntaan (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Sekundaarimetaboliitit eivät ole yleensä hyönteisille erityisen myrkyllisiä, mutta ne haittaavat syödyn kasviravinnon sulamista ja hidastavat näin hyönteisen kasvua ja alentavat sen yleiskuntoa. Pienemmän syöntipaineen alaisilla kasveilla on pienempiä määriä myrkyllisempiä aineita kudoksissaan torjumaan generalistihyönteisten ruokailuaikeita. Spesialisteilta aineet eivät juuri suojaa (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

2.9 Hypoteeseja ja teorioita kasvien väreistä

Liikkumaan kykenemättöminä organismeina kasvit tarvitsevat monenlaisia keinoja selvittääkseen herbivorihyönteisten niille aiheuttamasta syöntipaineesta ja useita samansuuntaisia sekä keskenään vastakkaisia teorioita sekä hypoteeseja on esitetty värien syntysyistä. Useat näistä keskittyvät syysväriytykseen. Tässä esitetään teorioista ja hypoteeseista tärkeimmät.

W.D. Hamiltonin esittämän signaaliteorian puiden syysväreistä (Hamilton ja Brown 2001, Schaefer ja Wilkinson 2004) mukaan kirkkaat syysvärit selittyvät kasvien ja hyönteisten yhteisellä kehityksellä. Teorian mukaan kasvit pyrkisivät vähentämään hyönteiskuormitusta väreillään ja hyönteiset osaavat etsiä värien perusteella heikommin puolustautuvat kasviyksilöt (Hamilton ja Brown 2001, Schaefer ja Rolshausen 2006, Schaefer ja Wilkinson 2004). Hamiltonin signaaliteorian pääsisältö on, että hyvän puolustuksen omaava kasvi pystyy vähentämään hyönteiskuormaansa todenmukaisella viestillä hyönteisille puolustuskyvystään (Hamilton ja Brown 2001, Schaefer ja Rolshausen 2006). Puolustautuminen maksaa toki kasville yhteyttämisvaroja kun se kehittää sekundaarisia



aineenvaihduntatuotteita puolustautuakseen (Schaefer ja Rolshausen 2006, Schaefer ja Wilkinson 2004). Mitä kirkkaampi väri, sen paremmin kasvi on kemiallisesti varustautunut (Lev-Yadun ja Gould 2007). Hamiltonin (2001) kokeessa testattiin puiden syysvärien vaikutusta kirvojen lajimäärään, ei lukumäärään. Keltaisen värin todettiin houkuttavan kirvoja, mutta punaisen todennäköisesti karkottavan niitä.

Optimaalisen puolustuksen teorian (Feeny 1976, Manetas 2005, Karageorgou ja Manetas 2005) mukaan arvokkaimpia kasvinosia tulee puolustaa eniten (Manetas 2005, Karageorgou ja Manetas 2005) ja kasvin sekundaarituotteet ovat tärkein tekijä määrittämään hyönteiselle valitseeko se tämän ravintokasvikseen vai välttääkö se tätä (Swain 1977). Kasvu-differentiaatio -tasapainohypoteesin mukaan kasvun ollessa heikkoa hiiltä voidaan ohjata fenolibiosynteesiin ja näin ollen kasvin puolustautumiseen (Manetas 2005). Kokeessa (Karageorgou ja Manetas 2005) on todettu herbivorihyönteisten useammin ruokailevan vihreillä nuorilla kasvinosilla kuin punaisilla nuorilla kasvinosilla. Myös hyönteisten aiheuttamat vahingot ovat huomattavammat vihreillä versoilla. Punaisten versojen korkeaa fenolipitoisuutta pidetään syynä eroon (Karageorgou ja Manetas 2005).

Teoria ja hypoteesi syysvärien kehityksestä lisääntymisen turvaamiseksi esittävät, että lisääntyvä kasvi värittyisi enemmän ja että väri olisi tässä aito signaali alenevasta ravinnetasosta (Lev-Yadun ja Gould 2007, Schaefer ja Rolshausen 2006). Koevoluutioteorian mukaan lehden värittyminen punaiseksi signaloi haitallisuutta kasvinsyöjille ja että kirkkaat värit signaloivat korkeaa puolustuskykyä kasvissa (Karageorgou ym. 2007). Kenttäkokeet tukevat koevoluutioteoriaa (Schaefer ja Rolshausen 2006).

Archettin ja Brownin (Schaefer ja Rolshausen 2006, Archetti ja Brown 2004, Archetti 2000) koevoluutiivisen teorian/hypoteesin mukaan värien tehtävät liittyvät suojautumiseen valon haitalliselta vaikutukselta sekä



hapettumiselta tai mahdollisesti toimivan heikentäen hyönteisen piiloutumiskykyä värikkäitä lehtiä vasten.

Haittahypoteesi esittää muun kuin vihreän kasvin värin kehittyneen kasvien ja hyönteisten kehittyessä yhtä aikaa. Hypoteesi hyönteisen piiloutumisen estosta (kryptinen teoria) esittää hyönteisten ja kasvien varustelukilpailun johtaneen tähän kehitykseen (Schaefer ja Rolshausen 2005).

Puolustusindikaattorihypoteesin (alun perin Schaefer ja Rolshausen 2006, Lev-Yadun ja Gould 2007) mukaan antosyaanien ja karotenoidien kasveja puolustavat ominaisuudet olisivat syntyneet lähinnä vasteena erilaisille stresseille. Lehtien kellastuminen johtuu klorofyllin asteittaisesta hajoamisesta ja tämä tapahtuu samanaikaisesti geenien, jotka synnyttävät ruoansulatuskanavan syömistä estävät proteaasit, toiminnan vilkastumisen kanssa (Schaefer ja Rolshausen 2005). Koska kasvin puolustusaineet – sekundaarimetaboliitit – syntyvät saman biosynteesin tuloksena kuin värit (Lev-Yadun ja Gould 2007) esitetään, että pigmenttien pleiotrooppiset vaikutukset tai kasvien yhteiset puolustusvasteet selittävät hyönteisten reagointia kasvien väreihin (Schaefer ja Rolshausen 2005). Puolustusindikaattorihypoteesi esittää harvemman hyönteisen ruokailevan voimakkaan punaisilla kasveilla, koska väri korreloi vahvaa kemiallista puolustuskykyä (Lev-Yadun ja Gould 2007).

Puolustusindikaattorihypoteesi esittää, että hyönteiset välttävät lakastuvia kirkkaasti värittyneitä lehtiä. Teorian ensin esittänyt Hamilton (Hamilton ja Brown 2001) uskoi väritymisen ja ruokailun välttämisen kehittyneen yhtäaikaisesti evoluution aikana. Kumpikin teoria olettaa värien muodostamisen maksavan kasveille energian muodossa. Tämä kustannus on usein kyseenalaistettu. Koevoluutioteorian testauksessa todettiin punaisilla ja keltaisilla kasveilla esiintyvän vähemmän hyönteisiä. Todennäköisin selitys väritymiselle lienee lehden irtoamisprosessin vaativien adaptaatioiden sisältävän sekä klorofyllin asteittaisen hajottamisen sekä flavonoidibiosynteesin. Värityminen ei siis olisi



koevolutiivinen viestintäkeino kasvien ja hyönteisten välillä. Todennäköisemmin kyseessä on usean tason puolustusvahvuuden tulos, värien ja puolustusaineiden syntyessä saman synteessin myötä (Schaefer ja Rolshausen 2005).

Hypoteesit olettavat hyönteisten arvioivan kasveja ja reagoivan näiden väreihin. Lev-Yadun olettaa (Lev-Yadun ja Gould 2007) värityksen haittaavan hyönteisten piiloutumista ja Hamiltonin signaaliteoria sekä puolustusindikaattorihypoteesi (alun perin Schaefer ja Rolshausen 2006, Lev-Yadun ja Gould 2007) esittävät että ei-vihreät kasvit korreloivat kasvien sisältämiä puolustautumiseen tarvittavia sekundaarituotteita. Jälkimmäisten ero on värien evolutiivinen synty ja stressin aiheuttama synty (Schaefer ja Rolshausen 2005).

Kryptisen teorian mukaan punavärin kehittämisen kustannuksen voi kumota se, ettei punainen lehti anna taustasuojaa usein vihreälle hyönteissyöjähyönteiselle, ja tällöin hyönteinen ei etsiytyisi punaiselle lehdelle. Tutkimuksen (Karageorgou ym. 2007) tuloksena oli, ettei voida vahvistaa, että signaali olisi hypoteesin mukainen. Vahvaa korrelaatiota signaalin vahvuuden ja kemiallisen puolustuskyvyn välillä ei voitu osoittaa. Pääteltiin, että koevolutiivinen (Archetti ja Brown, 2004) sekä puolustusindikaattorihypoteesi (Schaefer ja Rolshausen, 2006) saattaisivat päteä lakastuvien lehtien osalta. Nuorissa lehdistä punainen väri odotusten vastaisesti ei korreloinut fenolipitoisuuteen (Karageorgou ym. 2007).

3. Tutkimuksen tavoitteet

3.1 Onko värillä vaikutusta hyönteistuhoihin

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, voidaanko lajikevalinnalla vaikuttaa herbivorihyönteisten esiintymiseen kasveilla. Omat aiemmat huomiot tuhohyönteisten runsaudesta huonovointisilla tai vaaleilla kasveilla ja pohdinta siitä, miten punalehtiset kasvit pärjäisivät vertailussa, herätti ajatuksen lehden värin vaikutuksen tutkimisesta käytännön kokeella.

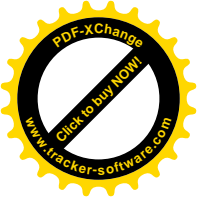


Peltokokeen tarkoitus oli selvittää vaikuttaako kasvin lehden väri houkuttelevuuteen hyönteisille. Hypoteesina on, että hyönteiset hakeutuvat vaaleimpien lajikkeiden pariin ruokaillakseen tai lisääntyäkseen, ja että punalehtiset lajikkeet saisivat olla käytännöllisesti katsoen rauhassa. Verranteena käytetään jokaisesta kasvilajista vihreälehtistä lajiketta. Jos hypoteesi pitää paikkansa, esiintyvät kasvinsyöjähyönteiset useimmiten vaaleimmilla lajikkeilla, seuraavaksi eniten vihreillä lajikkeilla ja vähiten punalehtisillä lajikkeilla. Tutkimukseen valituilla kasvilajeilla on kirjallisuudesta varmistettu normaalisti esiintyvän viljelyssä tuhohyönteisiä, koska tutkimus vähemmän alttiilla lajikkeilla ei antaisi mainittavaa eroa eri lajikkeiden välille. Tuhohyönteinen voi saapua kasville lentäen tai kävellen maanpintaa myöten. Eri tavoin ravintonsa ja lisääntymiskasvinsa etsivissä hyönteislajeissa voi olla eroa lehden värin vaikutuksessa ja myös tätä on tarkoitus kokeessa seurata.

Kokeilla todistetut värin vaikutukset ovat olleet vähäiset, ja useimmat kokeet onkin tehty kirvoilla ja muilla Sternorrhyncha -alalahkon nivelkärsäisillä (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42).

Voidaanko lajikevalinnalla vaikuttaa hyönteisongelmien suuruuteen kasvintuotannossa? Jos tuotantoon valitaan lehdenväritään sellainen kasvilajike, jonka ei kokeen perusteella tulisi houkuttaa hyönteisiä sille ruokailemaan tai lisääntymään, ovatko tuhot silloin vähäiset? Toisaalta, jos hyönteistuoja silti voisi olettaa esiintyvän kun kyse on suuren mittakaavan monokulttuurista, voisiko mahdollisia eroja eriväristen lajikkeiden kelpaavuudessa hyödyntää istuttamalla tai kylvämällä houkuttelevan värisiä lajikkeita houkutuskasvustoksi tai suojakasvustoksi, josta tuhohyönteinen sitten torjutaan. Näin voitaisiin välttää päätuotantokasvina olevan lajikkeen hyönteisvahingot.

Onko sopivimman värisen lajikkeen valinnalla mahdollista vähentää kasvinsuojeluaineiden käyttöä? Tutkimuksessa ei käytetä eikä testata kasvinsuojeluaineita, mutta voisiko tilastollisesti merkittävien tulosten



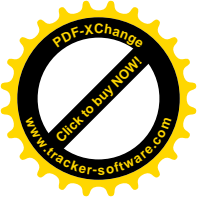
perusteella tehdä oletuksia lajikevalinnan merkityksestä myös kasvinsuojeluaineiden tarpeen vähenemisestä? Punalehtiset tai mahdollisesti muutenkin hyvin tummat lajikkeet saattavat sisältää hyönteisille vahingollisia aineita (yhdelta lajille myrkyllinen yhdiste voi olla lähilajille kuitenkin vaaraton (Swain 1977)), mutta nämä eivät kuitenkaan ole selkärangaisille, kuten ihmiselle, haitallisia. Näissä lajikkeissa olisi sisäänrakennettuna valmiiksi kasvin oma luonnollinen hyönteistorjunta, eikä kemiallista varmennusta ehkä enää tarvittaisi.

Mikäli tulokset ovat tilastollisesti merkitsevät ja eroa eriväristen lajikkeiden alttiudessa hyönteistuhonille voidaan todeta, olisiko mahdollista ohjata kasvinjalostusta väreiltään sopivimpien lajikkeiden suuntaan. Jos punalehtinen kaali tai salaatti saa olla hyönteisiltä rauhassa ilman kemikaaleja, pitäisikö yrittää jalostaa punaisen värin geeniä uusiin lajikkeisiin? Kuluttajan oletetaan tekevän ostopäätöksen samantapaisin perustein kuin hyönteisen, eli hän valitsee uuden, nuoren ja tuoreen näköisen vaalean kasvilajikkeen. Vai onko näin? Voidaanko kuluttaja saada houkuteltua ostamaan punalehtinen lajike?

3.2 Vaikuttaako ravinnon väri hyönteistoukan kehitykseen

Syöntikokeessa oli tavoitteena tutkia, kelpaavatko eriväristen keräkaali- ja isokirjopeippilajikkeiden lehdet samalla tavoin perhostoukkien ravinnoksi, ja toisaalta eroavatko toukat kehityksessään saatuaan syödäkseen ainoastaan tätä lajiketta.

On esitetty monenlaisia teorioita ja hypoteeseja herbivorihyönteisten ravintokasvin valintaperusteista, kuten edellä kohdassa 2.9. voidaan todeta. Syöntikokeessa toukalle ei anneta valinnanvaraa ravinnon suhteen, mutta sen sijaan seurataan ravinnon kulutusta sekä ravinnon vaikutusta toukan kasvunopeuteen ja painonnousuun. Tavoite oli käyttää kokeessa kahden perhoslajin, kaaliperhosen sekä nokkosperhosen, toukkia. Kaaliperhosen (*Pieris brassicae* L.) ja nokkosperhosen (*Aglais urticae* L.) toukkien oletettiin olevan sekä yleisiä että helposti löydettäviä ja



tunnistettaviakin ja löytyvän tyypillisiltä isäntäkasveiltaan Helsingin yliopiston Viikin laitosten läheisyydestä. Kaaliperhosen isäntäkasveja ovat ristikukkaiset (*Cruciferae*) viljely- sekä rikkakasvit. Nokkosperhosen ainoa isäntäkasvi on nokkonen (*Urtica dioica* L.), mutta sen on todettu satunnaisesti kelpuuttavan myös muita huulikukkaisia (*Lamiaceae*) kasveja munintakasvikseen ja toukkiensa ravinnoksi. Tästä päätellen syöntikoe huulikukkaisten heimoon kuuluvalla isokirjopeipillä (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd) saattaisi onnistua.

Syöntikokeessa toukkia syötettäisiin lehtiravinnolla kannellisilla petrimaljoilla vakaisissa oloissa kasvatuskäpissä niiden koteloitumiseen asti. Olennainen on toukan kehitys- ja kasvuvauhti riittävän herkällä vaa'alla punnittuna. Jos kasvin värillä ei ole väliä, toukat kehittyvät samalla tavalla ravinnostaan riippumatta. Ravinnon kulutus on tällöin myös samanlaista, eikä kuolleisuudessa ole eroa. Jos väri on yhteydessä kasvin ravintosisältöön tai haitallisiin metaboliatuotteisiin eron tulisi olla havaittavissa ravinnon kulutuksessa ja toukan kehityksessä.

4. Aineisto ja menetelmät

4.1. Kasvihuonekasvatus

Koetta varten oli olennaista aikaansaada kasvintuhoojista ja erityisesti herbivorihyönteisistä sekä punkeista (Acari) vapaita taimia, jotta kaikki mahdollinen saastunta olisi nimenomaan peltoympäristöstä luontaisesti kasveille ilmaantuvia hyönteisiä, eikä kasvatusympäristöstä (kasvihuone) peräisin tai taimiaineistossa valmiina esiintyviä. Tämän varmistamiseksi koekasvit kasvatettiin mahdollisuuksien mukaan kaupallisesta siemenestä puhtaassa kasvualustassa. Siemenet hankittiin useista eri vähittäismyymälöistä. Niissä tapauksissa, jolloin kasvatus siemenestä ei ollut mahdollista, taimet tilattiin kotimaisen taimitoimittajan Oy Schetelig Ab:n välityksellä Saksasta Jungpflanzen Grünwald'in tai Alankomaista Syngentan valikoimista. Saavuttuaan juurelliset pistokastaimet tarkastettiin kasvintuhoojien varalta sekä pidettiin myös vaihtelevasti muutamasta



päivästä kolmeen viikkoon karanteenissa ennen ruukutusta ja kasvihuoneeseen siirtoa.

4.1.1 Kasvualustat

Kasvualustoina taimikasvatuksessa käytettiin isokirjopeipin (*Solenostemon* (L.) Codd) kotikylvöksessä Pirkka kukkamultaa (johtokyky 14 mS/m, N-P-K 50-50-200 mg/l, pH 6,2). Kaikissa muissa kylvöksissä ja ruukutuksissa käytettiin Kekkilän taimiseosta (50 litran säkki), jonka N-P-K 500-90-800 mg/kg kuiva-ainetta, johtokyky 22 mS/m ja pH 6,0. Kekkilän taimiseosta tarvittiin taimikasvatuksessa yhteensä runsaat 2 kappaletta 50 litran säkkejä.

Isokirjopeipin lajikkeet 'Limelight' ja 'Palisandra' kylvettiin mustaan Ø 12 cm ruukkuun, mallia teku. Taimet koulittiin myöhemmin yksitellen mustaan Ø 6 cm ruukkuun, mallia vefi. Samaa Ø 6 cm ruukkua käytettiin muille siemenestä kasvatettaville kasveille sekä myös pistokastaimista jatkokasvatettaville koekasveille.

4.1.2 Kastelu ja lannoitus kasvihuoneessa

Kylvösten ja taimien kasteluun käytettiin normaalia vesijohtovettä. Veden jakelusta ja puhdistuksesta vastaa Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY: veden kovuus on 3,0–4,5 dH, pH on noin 8,3 ja kokonaisklooria on noin 0,03–0,5 mg/l (HSY 2014).

Kasvualustassa oli jo valmiiksi ravinteita, joten taimien ollessa pieniä kasteltiin pelkästään haalealla (noin 20°C) puhtaalla vedellä.

Kasvun voimistuessa taimien kastelu tarkistettiin vähintään joka toinen päivä. Tavoitteena oli pitää taimien kasvualusta tasaisen kosteana hyvän voimakkaan kasvun aikaansaamiseksi. Kastelu suoritettiin lannoitevedellä joka toinen kerta ja joka toinen pelkällä vesijohtovedellä.

Lannoitus annettiin kastelun yhteydessä käyttäen Ruukkukasvi-Superex -lannoitetta, jonka NPK oli 16-4-24. Lannoitteen käyttökohteita ovat ohjeen mukaan ruukku- ja ryhmäkasvit. Vesiliukoinen lannoite annosteltiin



mittalusikalla 1 litran vetoiseen kastelukannuun noin 10 g/litra vettä, mikä vastaa 1 % lannoitepitoisuutta kasteluvedessä. Valmistajan suositus ammattimaisessa käytössä (Kekkilä 2014) on 1 ‰ pitoisuus vedessä, mikäli kastellaan koko ajan ravinneliuoksella.

4.1.3 Lämpötila

Kasvihuoneosaston 030 lämpötila oli säädetty olemaan päivällä valoisaan aikaan +20 °C ja yöllä + 17 °C. Aurinkoisina päivinä lämpötilan pyrkiessä nousemaan korkeammaksi sumutusautomaatti käynnistyi ajoittain alentamaan lämpötilaa. Automaatti toimi hyvin, sillä viileähkön itämislämpötilan vaativan salaatinkin idättäminen onnistui erittäin hyvin.

4.2 Taimet

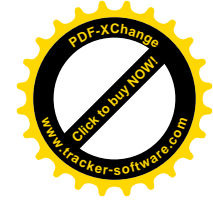
Kasveja oli valittu kokeeseen seuraavista heimoista: Convolvulaceae: Ipomoea; Lamiaceae: Solenostemon + Ocimum; Brassicaceae: Brassica; Asteraceae: Lactuca. Tavoitteena oli pyrkiä löytämään kaikista koekasvilajeista punalehtinen lajike, keltalehtinen lajike (tai vaalealehtinen lajike) sekä verranteeksi normaali vihreälehtinen lajike.

Siemenestä kasvatettaessa minimoitiin tauti- ja tuholaisriski taimissa, mutta osaa lajikkeista ei saada siemenestä, joten tällöin turvauduttiin ostotaimiin. Ne tilattiin suomalaisen Vantaalla toimivan ammattiviljelijöille taimia ja viljelytarvikkeita myyvän taimitoimittajan Oy Schetelig Ab:n kautta. Tilaus jätettiin 10.3.2014.

Taimiluettelo on liitteenä (liite 1).

4.3 Taimikasvatus

Isokirjopeipin kasvatus alkoi ensimmäisenä ja se kylvettiin jo 16.3.2014, mutta suurimmalle osalle kasveja kylvö tehtiin 3.4.2014. Ensimmäistä kylvöä lukuun ottamatta kylvöt tehtiin yliopiston kasvihuoneessa 030. Kylvökset peitettiin kirkkaalla muovilla hyvän itämiskosteuden ylläpitämiseksi.



Kylvöt tehtiin suoraan Ø 60 mm mustiin neliskulmaisiin vefi -ruukkuihin, joita ladottiin mustiin muovilaatikoihin 28 kappaletta laatikkoa kohden. Laatikot ladottiin vierekkäin osaston rullapöydälle. Ruukuissa käytettiin Kekkilän taimiseos-multaa.

Keräkaalit alkoivat itää ja kasvaa nopeasti. Päivänsinen (*Ipomoea tricolor* L. 'Heavenly Blue') itäminen oli erittäin heikkoa ja se jouduttiin lopulta korvaamaan toisella lajilla aitoelämänlanka (*Ipomoea purpurea* L. 'Star of Yelta'). Tämä kylvettiin 14.4.2014 ja iti hyvin jo 25.4.2014.

11.4.2014 isokirjopeipin taimet koulittiin yksitellen vefi-ruukkuihin. Muutaman päivän päästä vihreä ja punainen basilika kylvettiin.

Viimeiseksi kylvettiin lehtisalaattilajikkeet 28.4.2014. Tavoitteena oli saada salaattit kylvettyä ennen kuin kasvihuonelämpötila nousee liian korkeaksi voimistuvan säteilymäärän vuoksi. Salaattikylvökset laitettiin aluksi kasvihuonepöytien alle varjoon.

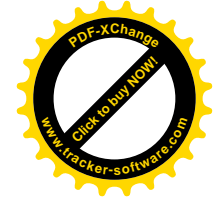
2.5.2014 keltaisten ja punaisten bataattien sekä kirjavan basilikan ('Variegata') ostotaimet koulittiin ruukkuihin. Salaatit itivät nopeasti ja 5.5.2014 ne kasvoivat hyvin.

Riittävästi kasvettuaan vihreistä keräkaalilajikkeista tehtiin valinta peltokokeen vaaleaksi lajikkeeksi ('Glory of Enkhuizen'). Aitoelämänlangat latvottiin kasvatuksen aikana 1–2 kertaa haaroittumisen edistämiseksi ja lopuksi 20.5.2014 kaikki istutettavat kasvit, 120 kpl, siirrettiin kasvihuoneesta ulos karaistumaan.

Taimikasvatuksen aikana tehtiin tarvittaessa (liite 2) muita toimenpiteitä.

4.4 Peltokoe

Kokeessa oli tavoite testata, vaikuttaako viljelykasvin lehden väri houkuttavuuteen tuhohyönteisille. Toisin sanoen, syödäänkö erityisesti tietyn värisiä lajikkeita toisten saadessa olla rauhassa.



Suunnitelmana oli istuttaa 8 koeruudulle viidestä eri kasvilajista kolmea eriväristä lajiketta, yhden kutakin. Valikoima lajeja ja lajikkeita oli jokaisessa ruudussa sama, mutta näiden järjestys oli jokaisessa ruudussa satunnaistettu.

Oletus oli, että 1 m x 1 m ruudut olisivat riittävät. Reunaefektin välttämiseksi sekä kitkemistä, kastelua ja huomioiden tekemistä varten ruudut eivät voineet olla kiinni toisissaan. Ruutujen väliin tehtiin 1 m levyiset käytävät. Etäisyyttä muihin käsiteltäviin tai varjostaviin kasvustoihin jätettiin riittävästi, kuten myös pellon pientareisiin, joissa saattaa elää runsaastikin tuhohyönteisten luontaisia vihollisia, petohyönteisiä.

4.4.1. Peltokokeen valmistelu

Ennakkosuunnitelman mukaan taimien peltoon istuttamisen ajankohdaksi oli suunniteltu 15.5.2014, jolloin herbivorihyönteisten tarkkailuaika avomaalla olisi ollut tasan kaksi kuukautta. Epätavallisen pitkään jatkuneet hallat ja alhaiset päivälämpötilat kuitenkin viivästyttivät istutusta noin viikolla. Odotusajan istutettavat kasvit (120 kpl) olivat siirrettyinä kasvihuoneesta pleksilasikattoiseen, mutta avoimeen, verkkoseinäiseen tilaan karaisua varten.

Otollista istutuslämpötilaa odotellessa valmistelut Helsingin yliopiston Viikin laitoksen pellolle varatulla koealalla etenivät. Maanantaina 19.5.2014 6 m x 9 m peltoala lannoitettiin käyttäen tälle 54 m² alalle 5 kg Kemira GrowHow Oyj:n Kloorivapaata Perunan Y-lannosta (NPK 8-15-19), sisältäen Mg, S ja hivenravinteita. Sen katsottiin sopivan kloorinaroille puutarhakasveille. Tämän jälkeen ala jysrittiin traktorijysrimellä. Annettu lannoitemäärä vastaisi 926 kg/ha. Koealan maalaji on hiuesavi (HeS).

Koealan valintaan vaikutti koealan maaperä, sijainti aidatulla alueella suojassa ilkeimmiltä ja suuremmilta eläimiltä, lyhyt kuljetusmatka istutettaville koekasveille ja helppopääsyisyys. Kriteereinä oli, ettei alueella ollut aiemmin viljelty ristikkukkasveja aiheuttaen keräkaaleille



möhöjuuririskiä, riittävä etäisyys kasvisuojeluaineilla käsiteltäviin muihin koekasvustoihin ja etäisyys ojista ja piennaralueista, joilla esiintyy runsaasti tuhohyönteisten luontaisia vihollisia (petohyönteisiä).

Keskiviikkona 21.5.2014 kasvien istutusjärjestys kussakin koeruudussa arvottiin Microsoft Office 2010 Home and studentin Excel-ohjelman avulla. Arvonnassa koekasvien lajikkeille annettiin numerot 1-15 sekä tasaisen jaon mahdollistamiseksi lisättiin yksi tyhjä istutusruutu numerolla 16. Näiden numeroiden satunnaista-toiminnon avulla saatu järjestys antoi numerot taas lajikkeiksi muuttamalla kasvien istutusjärjestyksen. Sen lisäksi, että järjestys koeruudun sisällä arvottiin, arvottiin myös koeruutujen järjestys koealalla. Näin koejärjestelyt saatiin täydellisesti satunnaistettua.

22.5.2014 pellolle kepeillä karkeasti rajattu istutusalue merkittiin tarkemmin. Koko ala tarkistettiin ristiin mittauksella mittanauhan avulla ja alan jokainen nurkka merkittiin 2 metrin mittaisella bambukepillä. Kun istutusalan kooksi oli saatu 6 m x 9 m, alkoi koeruutujen merkintä. Koeruutuja merkittiin koealalle 8 kappaletta. Jokaisen ruudun koko oli 1 m x 1 m ja myös jokainen yksittäinen koeruutu tarkistettiin ristiin mittauksin tasakokoisiksi ja suorakulmaisiksi. Koeruudut sijoituivat 1 metrin välein siten, että 9 metrin suunnassa ruutuja merkittiin 4 kappaletta, jolloin ruutujen välejä oli 3 kappaletta (à 1 m) ja reuna-alueet olivat leveydeltään 1 m istutusalan kummassakin päässä. 6 metrin suunnassa ruutuja oli 2 kappaletta, näiden välejä oli 1 (à 1 m) ja reuna-alueet olivat 1,5 metriä istutusalan kummassakin päässä. Jokainen koeruutu merkittiin neljältä nurkaltaan sinisin 40 cm mittaisin muovikepein. Lisäksi ruudut numeroitiin valkoisilla muovietiketeillä – esimerkiksi ”ruutu 5”. Edelleen jokainen koeruutu jaettiin 16 istutusruutuun. Istutusruutujen koko oli 0,25 m x 0,25 m ja ne merkittiin 20 cm pituisin puutikuin istutukseen asti.

Jokaisessa koeruudussa tarvittiin 4 x 4 kappaletta 0,25 m x 0,25 m kokoista istutusala, koska kasveja on 5 lajia kasveja x 3 lajiketta jokaisesta, yhteensä 15 kasvia.

4.4.2 Istuttaminen

23.5.2014 istutettavat kasvit kuljetettiin pellolle istutettavaksi käsin istutuskuokan avulla. Jokaiseen koeruutuun tuli istuttaa 15 koekasvia jättäen aina kuitenkin yksi ruutu tyhjäksi. Arvonnin antamien tulosten mukaan (kuva 1) jokaiseen koeruutuun istutettiin kuhunkin istutusruutuun koekasvi. Jokainen kasvi istutettiin mahdollisimman keskellä istutusruutua, jolloin joka yksilölle annettiin sama kasvutila.

Koeruutu 5

11	16	6	12
2	15	13	1
4	10	9	8
5	14	7	3

Koeruutu 1

11	13	6	7
16	14	15	2
8	10	3	1
4	5	9	12

Koeruutu 7

12	14	15	3
7	8	5	4
9	13	1	2
16	11	6	10

Koeruutu 3

7	15	14	5
11	10	2	8
16	4	13	1
3	6	9	12

Koeruutu 2

5	10	13	16
14	7	11	3
12	8	9	15
4	1	6	2

Koeruutu 8

15	8	3	11
4	9	2	10
5	12	13	14
1	6	16	7

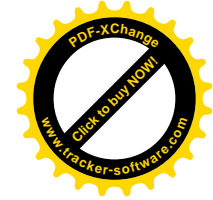
Koeruutu 4

3	9	16	2
8	7	11	6
13	14	15	12
5	10	4	1

Koeruutu 6

1	6	13	14
2	10	9	5
15	4	11	7
12	16	3	8

Kuva 1. Koeruutujen istutuskartta: numerot ovat lajikkeita (liite 3).



Istutuksen jälkeen istutusruutujen merkintään käytetyt puutikut poistettiin, jotteivät ne vahingoittaisi kasveja tuulisissa oloissa. Istutuksen jälkeen jokainen koeruutu kasteltiin. Vettä annettiin 20 litraa/koeruutu kastelukannulla koealan viereen tuodusta 2000 litraa vesijohtovettä sisältäneestä vesitankista. Kaikki loput kasvit kasvihuoneesta, varakasvit sekä ylimääräiset, siirrettiin karaisutilaan.

Istutuksen yhteydessä jokainen keräkaali 'Glory of Enkhuizen' merkittiin yhden lehtiruodin ympärille laitettulla värikkäällä pussinsulkijalla tunnistamisen helpottamiseksi. Istutusviikonloppu ja seuraava maanantai oli helteinen, noin +25°C, mutta sitten lämpötila laski välille 5,9-8°C ja sää muuttui pilviseksi, sateiseksi ja tuuliseksi. Kasveja ei suojattu harsolla, koska tämä olisi estänyt hyönteisten pääsyn kasveille. Istutuksen jälkeen koealan ympärille kylvettiin kauraa (*Avena sativa* L.) suojakasvustoksi.

30.5.2014 kasvit vaikuttivat selvinneen kylmästä ja tuulesta, vain muutama taittunut tai kellastunut lehti poistettiin. Aitoelämänlangalle laitettiin 120 cm bambukepit kiipeämistueksi estämään kiertymistä muiden kasvien ympärille.

1.6.2014 vioittuneita ja kellastuneita lehtiä poistettiin ja todettiin elävyys ja hyvä vointi. Keräkaalin 'Glory of Enkhuizen' lehdenreunat oli nakerrettu 2-3 ruudussa. Lievä kitkentä ruuduissa oli tarpeellinen.

4.4.3 Koealan hoito

Kokeen aikana koeruutuja kasteltiin kastelukannulla tarvittaessa ja kerralla annettu vesimäärä oli useimmiten 10 litraa koeruutua kohden. Muuta alaa – ruutujen välit ja reuna-alueet – ei kasteltu. Sadetta tuli suhteellisen säännöllisesti, joten kastelun tarve oli melko vähäinen.

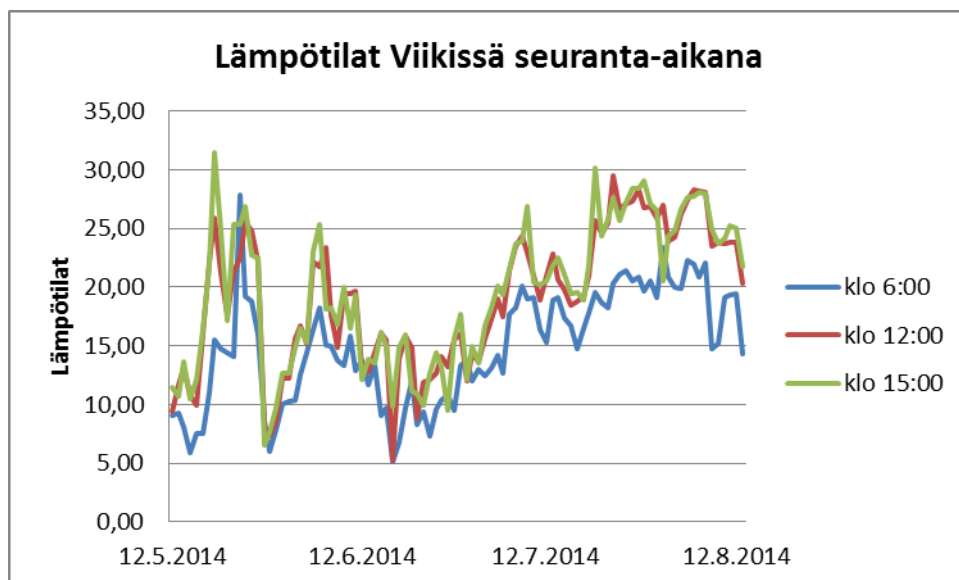
Kilpailevat rikkakasvit kitkettiin rikkakasvikuokalla. Rikkakasvit poistettiin koealalta, jotteivät ne vaikuttaisi kasveihin lannoittavasti tai toimisi suojana haitallisille hyönteisille tai näiden luontaisille vihollisille. Kitkennän tarve oli melko vähäinen ja aluksi kitkentää tehtiin vain noin kahden viikon välein ja

pelkästään koeruuduissa. Kokeen loppupuolella koko koeala kitketiin kahdesti, myös koeruutujen välit ja reuna-alueet.

4.4.4 Olosuhteet

Toukokuussa istutus viivästyi viileinä jatkuneiden säiden sekä toistuvien hallaöiden vuoksi, mutta istutuksen jälkeen sää pysyi pitkään ihanteellisena. Toukokuun lopulla kerran ja kesäkuussa kahteen kertaan lämpötila laski hyvin alhaiseksi, jopa $+5^{\circ}\text{C}$, ja useaksi päiväksi kerrallaan (kuva 2). Myös rakeita satoi sään ollessa kylmimmillään. Erityisesti basilikan taimia kuoli kylmäjaksoina kylmään. Näistä jäi lopulta henkiin vain 1 tavallinen ja 1 valkokirjava basilika, joten hyönteisseuranta basilikalla kävi lopulta turhaksi.

Lämpötilat ovat peräisin Helsingin yliopiston Viikin laitosten lämpötilaseurannasta (liite 5). Saaduista luvuista laskettiin keskiarvot. Käytetyt seuranta-ajat ovat klo 6:00, 12:00 sekä 15:00 (kuva 2), joten kaaviosta puuttuvat vuorokauden alimmat lämpötilat. Ne sijoittuivat useimmiten klo 03:00 aikoihin, mutta toisinaan myös klo 23:00 aikaan.



Kuva 2. Viikin suuret lämpötilanvaihtelut

Mittaustuloksista jäivät puuttumaan arvot 5.6.–19.6.2014, mutta ne saatiin Ilmatieteen laitokselta (liite 5).



Lämpötilaseurannan valitut kellonajat perustuvat oletuksiin, että iltapäivä on vuorokauden lämpimin ajankohta (klo 15:00), keskipäivä (klo 12:00) kuvaisi vuorokauden keskimääräistä lämpötilaa ja että aikainen aamu (klo 6:00) vielä ilmaisisi, onko yö ollut kylmä. Numeraaliset seuranta-arvot (liite 5) kertovat myös hyönteisten seuranta-aikana esiintyneet alimmat yölämpötilat. Näistä voidaan nähdä vuorokauden kylmimmän ajan olleen vaihtelevasti klo 23:00 ja 03:00 välisenä aikana.

4.5 Syöntikoe

Pellolla suoritettun lajikekokeen kanssa samanaikaisesti tehtäväksi suunniteltiin syöntikoe kasvatuskaapissa. Suunnitelma oli etsiä tai hankkia kaaliperhosen (*Pieris brassicae* L.) toukkia sekä nokkosperhosen (*Aglais urticae* L.) toukkia ja syöttää näille peltokokeen tähän tarkoitukseen soveliaiden kasvilajien lajikkeiden lehtiä petrimaljalla. Tavoitteena oli selvittää toukkien painoa vertaillen käyttäen punnitsemiseen Mettler AE 240 (USA) vaakaa, olisiko toukkien kasvussa ja kehityksessä eroa, joka mahdollisesti liittyisi syötetyn lajikkeen lehden väriin. Kaaliperhosen toukille oli tarkoitus syöttää keräkaalin (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) vaaleanvihreän 'Glory of Enkhuizen', tummanvihreän 'Langedijker Bewaar' sekä punaisen 'Rotkopf' lajikkeen lehtiä ja nokkosperhosen toukille isokirjopeipin (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd) keltaisen 'Limelight', vihreän 'FlamexA® Formula Mix' sekä punaisen 'Palisandra' lajikkeen lehtiä.

Ongelmaksi osoittautui toukkien löytyminen. Yleensä yleisiä nokkosperhosia ei näkynyt lainkaan Helsingin yliopiston Maataloustieteen laitoksen lähiseudulla alkukesän kylmäjaksojen jälkeen, eikä näin ollen toukkiakaan löytynyt etsinnöissä nokkoskasvustoissa (*Urtica dioica* L.). Työn ohjaaja, professori Heikki Hokkanen löysi yhden esiintymän nokkosperhosen toukkia, mutta toukat ehtivät koteloitua ennen kuin koe ehdittiin toteuttaa. Uusia sukupolvia ei enää havaittu. Kaaliperhosen (*Pieris brassicae* L.) toukkia yritettiin hankkia kasvattajalta Alankomaista, mutta toimitus ei ollut mahdollinen kasvattajalla esiintyneen toukkien virusongelman vuoksi. Kaaliperhosen toukkia löytyi lopulta aluksi



(16.6.2014) muutamia erikokoisia yksilöitä ja myöhemmin (29.6.2014) vielä 12 kappaletta noin 250 kilometrin päästä Helsingistä Lounaissaariston Houtskarin Berghamnista keräkaalin taimilta. Kaalit oli kasvatettu ilman kemiallisia lannoitteita ja kasvinsuojeluaineita. Toukkien keräyspaikan koordinaatit olivat 6683341 N ja 183688 E ETRS-TM35FIN - tasokoordinaatein ilmaistuna ja ilmaistuna ETRS89 maantieteellisen koordinaatiston (~WGS84) mukaan N / lat 60°9' 50.029" ja E / lon 21° 17' 45.887" (Maanmittauslaitos 2014).

4.6 Hyönteisseurannan menetelmät

Hyönteisten esiintymisen seuranta koekasveilla tapahtui okulaarisesti kasvien versoista ja lehtipinnoilta seuraten. Seurannan apuvälineinä olivat suurennuslasi pienimpiä hyönteisiä varten ja näyteputkilot sen varalta, että näyte olisi tarvittu tarkempaa muualla tapahtuvaa tunnistusta varten – esimerkiksi mikroskooppia käyttäen. Käytännössä yhtään hyönteisnäytettä ei tarvinnut ottaa tunnistusta varten. Hyönteisten tarkkailumenetelmänä oli pääsääntöisesti maan pinnan lähellä manuaalinen kasvien lehtien kääntely, koska suurin osa herbivorihyönteisistä viihtyy piilossa lehtien alapinnoilla. Useimpien hyönteisten munintakin tapahtuu lehtien alapinnoille, ei niinkään yläpinnoille.

Seuranta toistettiin kaksi kerta viikossa, maanantaisin ja torstaisin. Jokainen tarkastuskerta kesti noin 2–3 tuntia kirjauksineen. Kirjaamiseen käytettiin lomaketta (liite 3), johon koeruutukohtaisesti merkittiin jokaisella kasviyksilöllä esiintyneet hyönteiset tai todettu muninta tai syöntivioitus. Syöntivioituksen arviointi oli prosentuaalinen osuus hyönteisten vioittamasta osasta kasviyksilöä. Hyönteisseuranta tehtiin sukukohtaisesti, mutta ei lajikohtaisesti eli tarkkaa lajimääritystä (esim. kirvoista) ei tehty. Kokeen tarkoitus oli seurata onko eroa herbivorihyönteisten esiintymisessä eri lajikkeiden välillä, ei niinkään se, mitä kaikkia lajeja kasveilla esiintyy.

Hyönteisseurantalomakkeella oli 8 numeroitua ruutua arvotussa istutusjärjestyksessä ja jokaisessa ruudussa lista lajikkeista numeroina sekä sarakkeet jokaiselle potentiaaliselle näillä kasveilla esiintyvälle



kasvituhoojahyönteiselle. Ruutuihin merkittiin kuinka monta hyönteisyksilöä kasviyksilöllä tarkastushetkellä esiintyi ja maininta olivatko kyseessä munat, toukat, aikuiset vai kotelot. Kirjatut havainnot tallennettiin Excel-tiedostoon myöhempää tilastollista tarkastelua varten.

4.6 Tilastolliset menetelmät

Hyönteisten esiintymisen tilastolliseen tarkasteluun peltokokeessa valittiin R-ohjelma ja sillä laskettuna käyttäen mallia Poisson-jakauma, siten että sovelletaan yleistettyä lineaarista mallia:

$$Y[i,j] \sim \text{Poisson}(\mu[i,j])$$

$$\log(\mu[i,j]) = \mu_0 + a[i] + b[j] ; \text{ jossa } a[1]=0=b[1]$$

eli valittiin yksi kategoria vertailuryhmäksi (laji1, väri1), ja sen ryhmän odotusarvo oli $\exp(\mu_0)$, ja muiden ryhmien odotusarvot olivat sitten niitä vastaavien parametrien mukaan $\exp(\mu_0+a[i]+b[j])$.

R-ohjelmiston kotisivu on <http://www.r-project.org/>

5. Tulokset

5.1 Olosuhteet seuranta-aikana

Kohdan 4.4.4 lämpötilojen lisäksi vioitusta aiheutti varsinkin kylminä jaksoina esiintynyt kova tuuli, erityisesti kun koealan ympärillä ei vielä ollut tuulilta suojaavaa suojakasvillisuutta (kaura, *Avena sativa* L.).

Kylmyyden ja tuulen lisäksi ongelmaksi muodostui Viikin pelloilla runsaina viihtyvät ja ruokailevat valkoposkihanhet (*Branta leucopsis* L.), jotka sekä katkoivat että söivät koekasveja, talloivat niitä sekä ulostivat niiden päälle (suojaus, kuva 3). Jo istutusta odottaville kasveille ilmaantui herbivorihyönteisten luontaisia vihollisia, jotka todennäköisesti söivät osan tarkkailtavista tuhohyönteisistä ja näitä petohyönteisiä esiintyi kasveilla koko seurannan ajan.



Kuva 3. Koeruutujen hanhi- ja jänissuojaus.

5.2 Peltokokeen hyönteisseurannan tulokset

Basilika (*Ocimum basilicum* L.) ei antanut merkittävää hyönteisseurantatulosta taimien suuren kuolleisuuden johdosta. *Ipomoea* -suvun bataatin sekä aitoelämänlangan ja *Solenostemon* -suvun isokirjopeipin hyönteishavaintoja oli vähän ehkä uuden kasvun ollessa vioitusten ja kylmäjaksojen jälkeen heikkoa. Hyönteisvioletusta oli alkanut syntyä ja hyönteisiä esiintyä vasta riittävän pitkän lämpimän jakson jälkeen elokuussa. Aitoelämänlangalla esiintyi enemmän hyönteisiä (pääosin kirvoja) kuin bataateilla.

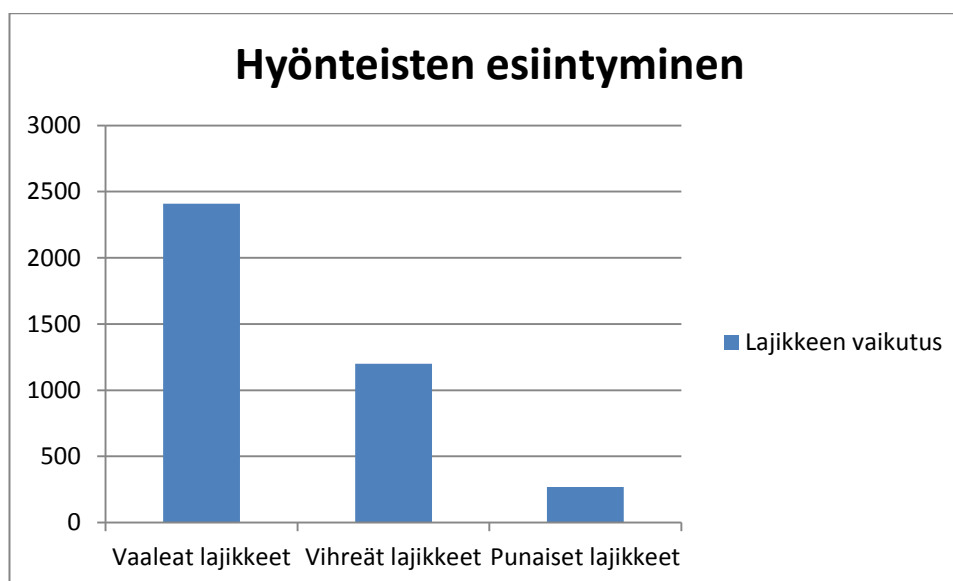
Keräkaalilla (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) ja lehtisalaatilla (*Lactuca sativa* L.) tulokset olivat selkeät; vaaleimmalla lajikkeella esiintyi runsaasti herbivorihyönteisiä, vihreällä lajikkeella jonkin verran ja punaisella lajikkeella hyvin vähän (taulukko 1). Tilanne pysyi samanlaisena koko tarkkailujakson ajan. Vihreät keräkaalilajikkeet (vaalea ja tumma) olivat seurantajakson päättyessä erittäin reikäisiksi syötyjä ja kaalikoin toukat esiintyivät uloimpien lehtien ulkopintojen sijaan sisempien lehtien sisäpinnoilla ruokailemassa. Punainen keräkaalilajike oli lähes koskematon.

Taulukko 1. Hyönteisten esiintyminen kasveilla koealalla

LAIKE	HYÖNTEISMÄÄRÄ/kpl
Vaalea <i>Brassica</i>	415
Vaalea <i>Lactuca</i>	1983
Keltainen <i>Ipomoea</i>	5
Keltainen <i>Solenostemon</i>	4
Kirjava <i>Ocimum</i>	1
Vaaleat lajikkeet	2408
LAIKE	HYÖNTEISMÄÄRÄ/kpl
Vihreä <i>Brassica</i>	447
Vihreä <i>Lactuca</i>	658
Vihreä <i>Ipomoea</i>	0
Vihreä <i>Solenostemon</i>	92
Vihreä <i>Ocimum</i>	4
Vihreät lajikkeet	1201
LAIKE	HYÖNTEISMÄÄRÄ/kpl
Punainen <i>Brassica</i>	59
Punainen <i>Lactuca</i>	210
Punainen <i>Ipomoea</i>	0
Punainen <i>Solenostemon</i>	0
Punainen <i>Ocimum</i>	0
Punaiset lajikkeet	269

Vaaleat lajikkeet	2408
Vihreät lajikkeet	1201
Punaiset lajikkeet	269

Lukumääräisen esiintymisen perusteella (kuva 4) lehden väri vaikuttaa herbivorihyönteisten esiintymiseen.



Kuva 4. Vaalein lehti houkutti eniten ja punainen vähiten.



Seurannassa koekasveilla todetuista kasvintuhoojahyönteisistä (kuva 5) tärkein oli kirva. Kirvoja esiintyi useita lajeja, mutta lajeja ei määritetty. Yksilöiden laskemisesta ei ollut tarpeen siirtyä kolonioiden laskemiseen, koska yksilömäärät pysyivät kohtuullisina. Kirvat eivät olleet niin runsaita, että niiden esiintyminen olisi aiheuttanut kasvuhäiriöitä koekasveille. Kaupallisella viljelmällä kuitenkin todettu esiintymisrunsaus olisi haitannut kauppakelpoisuutta.

Kirpat esiintyivät yleisesti aiheuttaen ruokaillessaan kasvin lehtien reikiintymistä ja likasivat erityisesti kaalikasvien sisäosia. Selkeästi kellertävät värit houkuttelivat kirppoja, koska niitä esiintyi myös kasvilajeilla, joilla ne eivät kuitenkaan ruokailisi. Kirppoja esiintyi ainakin kahta lajia, mustaa ja keltamustaraitaista. Näilläkään ei tarkempaa lajimäärittystä tehty.

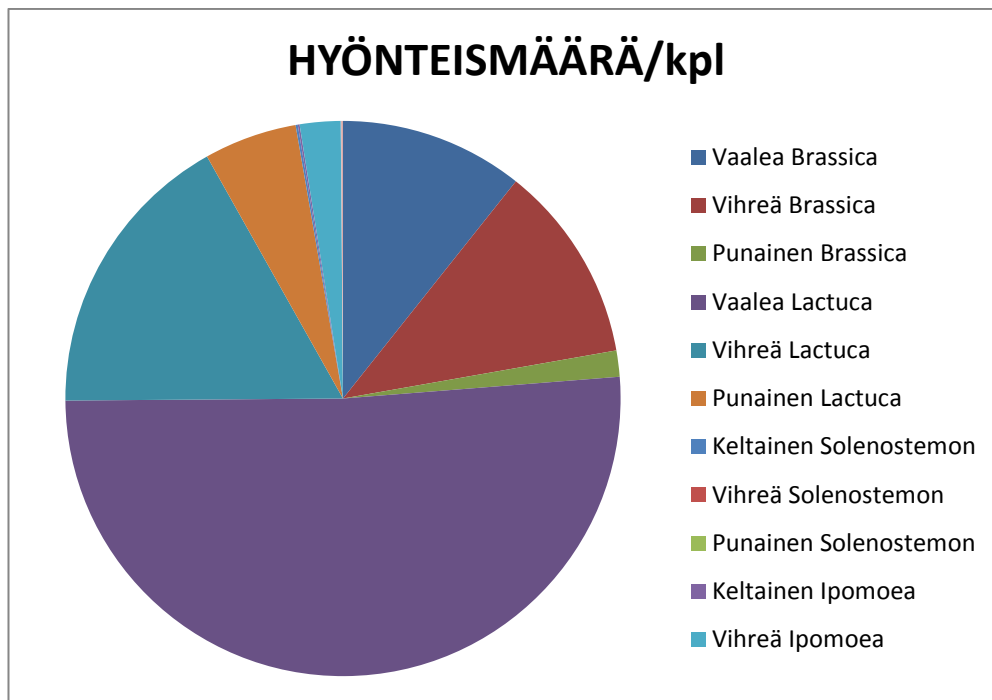
Kaalikoi esiintyi lähes koko tarkkailuajan keräkaaleilla, mutta hyvin marginaalisesti punakaalilla. Varsinaisena tarkkailuaikana (23.5.–14.7.2014) kaalikoin toukkien aiheuttamat vahingot olivat vielä siedettävät, mutta elokuun viimeisellä tarkkailukerralla kaalikoin toukat olivat jo huomattavasti vioittaneet ruokailullaan ja sotkeneet ulosteillaan vihreät keräkaalit. Kaalikoin kirjallisuudessa esitetty muninta uloimpien lehtien ulkopinnoille ja sisimpien lehtien sisäpinnoilla (Justus ym. 2000) piti paikkansa tässä kokeessa.

Ajoittain kasveilla esiintyi kärsäkkäisiin kuuluvia nirppuja, mutta oli epäselvää, vioittivatko ne yhtäkään koekasvilajia.

Viimeisellä tarkkailukerralla yhdeltä vihreältä keräkaalilta löytyi jonkin yökkösen toukka, muuten ei koko aikana koelueella esiintynyt kaalikoita lukuun ottamatta mitään perhosia. Heinäsirkkoja ja hepokatteja ei näkynyt kertaakaan.

Alusta saakka kasveilla esiintyi herbivorihyönteisten luontaisia vihollisia leppäkerttuja, harsosääskiä, sylkikuoriaisia sekä monenlaisia loispistiäisiä ja

näiden toiminta varmaan piti tuhohyönteisten populaatiot osaltaan kohtuullisina.



Kuva 5. Hyönteisten esiintyvyys seuranta-aikana.

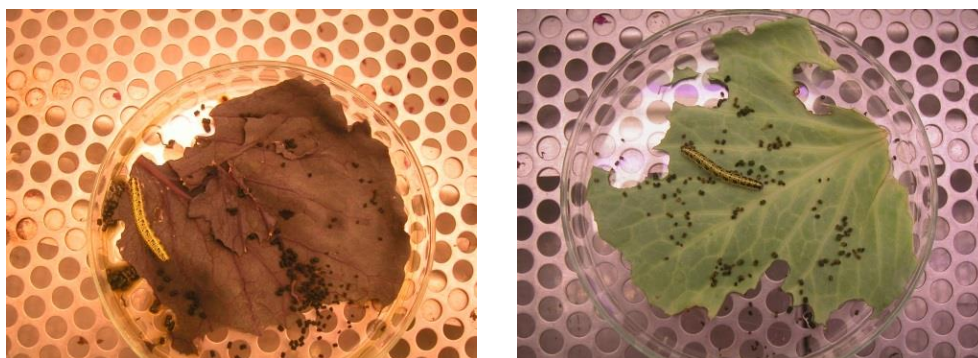
5.3 Syöntikoe kaaliperhosen toukilla

Kaksi erillistä syöntikoetta toteutettiin, mutta ainoastaan kaaliperhosen (*Pieris brassicae* L.) toukilla nokkosperhosen toukkien ehdittyä koteloitumaan. Syöntikokeen ajan toukat pidettiin Weiss BIO 2000 -kasvatuskammiossa Helsingin yliopiston Maataloustieteen laitoksen tiloissa. Kammio oli käynnistetty 19.6.2014 ja se oli säädetty +20°C (Celsius) lämpötilaan 16 tunnin valojaksolla ja 8 tunnin pimeäajaksolla vastaamaan pitkää päivää.

Syöntikoetta 1 varten 16.6.2014 löytyneet toukat olivat hyvin pieniä ja näiden saattaminen riittävän kookkaiksi tunnistusta varten edellytti lisäkasvatusta kaalinlehtiruokinnalla lasisella petrimaljalla. Kasvatuksen aikana suurin osa toukista kuoli ja jäljelle jäi kaksi yksilöä.

Kokeessa 1 23.6.2014 kaaliperhosen (*Pieris brassicae* L.) 1 toukalle yhdellä petrimaljalla syötettiin keräkaalin (*Brassica oleracea* L.) vaaleanvihreää

'Glory of Enkhuizen' -lajiketta sekä 1 toukalle toisella petrimaljalla punaista 'Rotkopf' -lajiketta. Kummallekin toukalle annettiin 11,8 g painoinen pala kaalinlehteä ja toukkien kooksi mitattiin 20 millimetriä. 24.6.2014 todettiin hieman ulosteita kummallakin maljalla, mutta ei vielä näkyviä syöntijälkiä. Toinen toukka kuoli melko pian kokeen aikana, joten vain syöntierot ehdittiin todeta. Vaaleanvihreä lajike kelpasi selvästi paremmin (kuva 6) kuin punainen. Yksi toukka jäi eloon ja koteloitui.



Kuva 6. Syöntikoe 1:n ero ruokailussa punaisen ja vihreän kaalin välillä.

Kokeessa 2 toukille syötettiin kolmen erivärisen (vaaleanvihreä 'Glory of Enkhuizen', tummanvihreä 'Langedijker Bewaar' ja punainen 'Rotkopf') keräkaalilajikkeen lehdenpalasia.

Kokeessa 2 oli käytettävissä aluksi 12 kappaletta samaa alkuperää kuin edellisessä kokeessa olevaa kaaliperhosen toukkaa. 9 näistä jäi lopulta henkiin. Nämä toukat olivat selvästi aiemman kokeen toukkia kookkaampia ja lisäksi keskenään samankokoisia. Toukat olivat kehityksessään niin pitkällä, että näiden tunnistaminen lajilleen oli heti mahdollista. Toukat laitettiin à 4 kappaletta petrimaljan kokoon ja muotoon saksilla leikatun keräkaalin lehdenpalan kanssa kannelliselle lasiselle petrimaljalle. Lehdenpaloja ei punnittu. Toukat punnittiin aluksi lajikekohtaisesti, ei yksitellen, tyhjässä petrimaljassa. Toukkien nostamiseen ja siirtelyyn syöntimaljalta punnitusmaljalle punnitusta varten käytettiin steriiliä puutikkua, jotteivät toukat vahingoittuisi. Tyhjän lasisen petrimaljan paino oli keskimäärin 104,8565 grammaa (g) ilman kantta. Ensimmäisessä punnituksessa 3.7.2014 4 toukan painot olivat vaaleimmalla



keräkaalilajikkeella 105,8640 g, vihreällä 105,2190 g ja punaisella 105,0755 g lasisella petrimaljalla ilman kantta punnittuina. Kaksi päivää myöhemmin 5.7.2014 toukkia oli elossa 3 kappaletta lajiketta kohti ja punnitustulos oli vaalealla lajikkeella 106,4047 g, vihreällä 106,7972 g ja punaisella 106,3162 g kolmea toukkaa kohden maljoineen. Punalehtistä keräkaalia oli syöty suhteessa eniten ja vaaleinta vähiten.

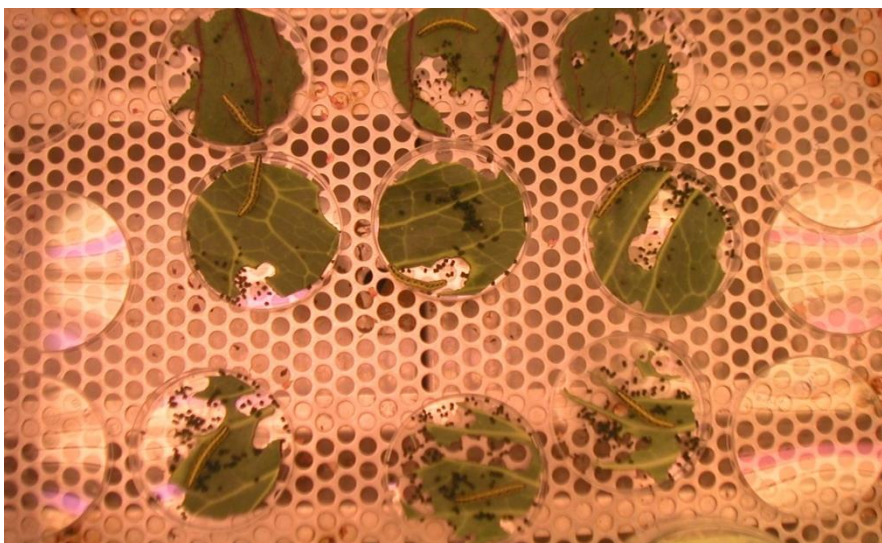
5.7.2014 toukat siirrettiin kevyemmille (paino keskimäärin 14,9470 g) muovisille petrimaljoille (taulukko 2) yksitellen sen eliminoimiseksi, etteivät potentiaalisesti sairaat ja kuolevat toukat tartuttaisi muita toukkia. Nyt toukat punnittiin yksitellen ja keräkaalin lehdenpalat vaihdettiin joka toinen päivä. Lisäksi maljat pestiin vesijohtovedellä ja kuivattiin paperilla samalla kun lehdenpalat vaihdettiin. Petrimaljat oli numeroitu luvuilla 1.-9. Toukat maljoilla 1.-3. söivät lajiketta 'Glory of Enkhuizen', maljoilla 4.-6. lajiketta 'Langedijker Bewaar' ja maljoilla 7.-9. lajiketta 'Rotkopf'.

Taulukko 2. Punnitustulokset 5.7.2014 yksittäisistä toukista tyhjällä suuremmalla muovisella petrimaljalla.

Tyhjä petrimalja	14,9470 g	tyhjä
1. toukka + malja	19,7643 g	vaaleanvihreä kaali
2. toukka + malja	19,3932 g	vaaleanvihreä kaali
3. toukka + malja	20,3985 g	vaaleanvihreä kaali
4. toukka + malja	19,8516 g	tummanvihreä kaali
5. toukka + malja	20,0335 g	tummanvihreä kaali
6. toukka + malja	19,4406 g	tummanvihreä kaali
7. toukka + malja	18,0748 g	punainen kaali
8. toukka + malja	18,0503 g	punainen kaali
9. toukka + malja	18,9979 g	punainen kaali

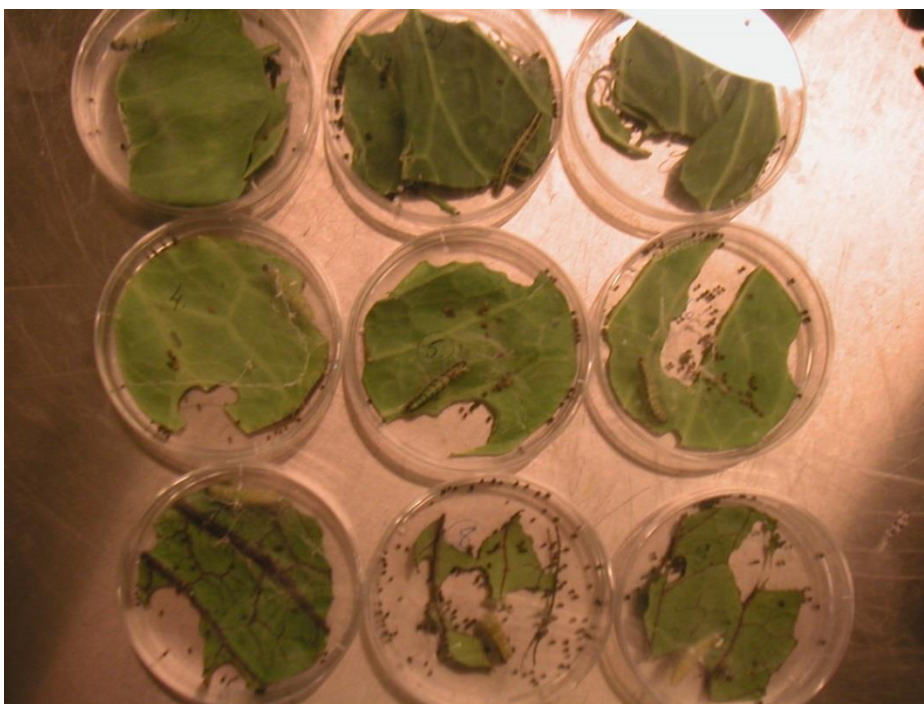
6.7.2014 toukat olivat noin 3 senttimetrin pituisia. 6.7.2014 punaista lajiketta oli syöty eniten, mutta kun lehdenpalat oli vaihdettu, jo 7.7.2014 vaaleinta lajiketta oli syöty eniten (kuva 7). Toukat siirrettiin 6.7.2014

yksitellen pienemmille muovisille petrimaljoille, joiden paino oli noin 6 g.



Kuva 7. Syöntikoe 2, syöntierot 7.7.2014.

Tässä vaiheessa toukkien peräpäässä oli havaittavissa seittiä ja samoin petrimaljojen kannessa oli hieman seittiä. 8.7.2014 vaaleinta keräkaalia oli syöty eniten, mutta punaistakin oli syöty runsaasti. Osa toukista roikkui ylösalaisin petrimaljan kannesta. 9.7.2014 lähes kaikki toukat olivat jo koteloitumassa (kuva 8) ja 10.7.2014 kaikki paitsi yksi



Kuva 8. Syöntikoe 2, punaista kaalia syöty eniten.

toukka (vaalealla lajikkeella) olivat koteloituneet. 12.7.2014 kaikki toukat olivat koteloituneet ja viimeinen punnitus (taulukko 3) suoritettiin koteloituneilla toukilla. Kotelon (kuva 9) valmistaminen vie energiaa, joten toukkien paino vähenee koteloitumisen aikana.



Kuva 9. Kaaliperhosen kotelo.

Taulukko 3. Punnitustulos 12.7.2014 koteloituneista toukista muovisen pienimmän petrimaljan kannella punnittuina.

Petrimaljan kansi	noin 6 g	tyhjä
1. toukka + kansi	7,3414 g	vaaleanvihreä kaali
2. toukka + kansi	7,3555 g	vaaleanvihreä kaali
3. toukka + kansi	6,9252 g	vaaleanvihreä kaali
4. toukka + kansi	7,1614 g	tummanvihreä kaali
5. toukka + kansi	7,3881 g	tummanvihreä kaali
6. toukka + kansi	6,6989 g	tummanvihreä kaali
7. toukka + kansi	6,6894 g	punainen kaali
8. toukka + kansi	6,8142 g	punainen kaali
9. toukka + kansi	6,6766 g	punainen kaali

Toukat punnittiin näiden syönnin aikana käyttäen punnitsemiseen Mettler AE 240 (USA) vaakaa.



Jotteivät sairaat ja kuolevat kaaliperhosen toukat tartuttaisi muita toukkia, koejärjestelyjäkin jouduttiin muuttamaan. Vaikka toukat siirrettiin yksitellen eri petrimaljalle ja lopuksi punnittiin koteloina, se ei ole vaikuttanut punnitustulosten vertailtavuuteen. Yhteispunnituksista saatiin laskettua keskiarvot yhden toukan painoksi keräkaalilajiketta kohden. Näitä voitiin edelleen verrata yksittäin punnittujen toukkien painon muutoksiin. Olennaista oli nähdä erot eri lajikkeita syöneiden kaaliperhosen toukkien painossa keskinäisessä vertailussa. Painon kehitys liitteessä 6. ilman kantta.

Syöntikoe 2 kesti kokonaisuudessaan 10 päivää, 3.–12.7., toukkien koteloitumiseen asti. Toukkia ja näin ollen kerranteitakin oli lopulta enimmillään vain 9 kappaletta. Mahdollisesti suurempi kerrannemäärä olisi ollut ihanteellinen, mutta kaaliperhosen toukkia ei löytynyt enempää todennäköisesti alkukesän kylmistä sääjaksoista johtuen. Koteloituneet kaaliperhosen toukat menivät diapaussiin ja yritykset pitämällä niitä 2 kuukautta +7°C lämpötilassa saada ne kuoriutumaan ja aikuistumaan sekä tekemään uuden testattavan toukkasukupolven eivät onnistuneet.

Painoerot olivat suurimmillaan 0,7115 g kevyimmän keräkaalilajiketta 'Rotkopf' syöneen toukan ja painavimman lajiketta 'Glory of Enkhuizen' syöneen toukan välillä. Punnitus oli tehty koteloituneista toukista 12.7.2014. Vastaava ero punnitustuloksessa 5.7.2014 oli 2,3482 g.

5.4 Syöntikokeen tulokset

Kokeessa kaaliperhosen (*Pieris brassica* L.) toukille syötettiin keräkaalin (*Brassica oleracea* L. var. Capitata) ensimmäisessä kokeessa vaaleaa sekä punaista lajiketta ja toisessa kokeessa vaalean, vihreän sekä punaisen lajikkeen lehdenpalasia. Syöntikoe 1 epäonnistui toukkien kuollessa. Ainoaksi havainnoksi saatiin vaalean keräkaalin syönnin olevan punaista keräkaalia runsaampaa.

Syöntikoe 2:ssa toukat söivät aluksi eniten vaaleaa keräkaalilajiketta, mutta sitten punaisen lajikkeen syönti kiihtyi ja toukat söivät eniten punaista

lajiketta. Punaisen kaalin runsas syönti ei korreloinut toukan painon lisäykseen, vaan punaista syöneen toukan paino oli alhaisin.

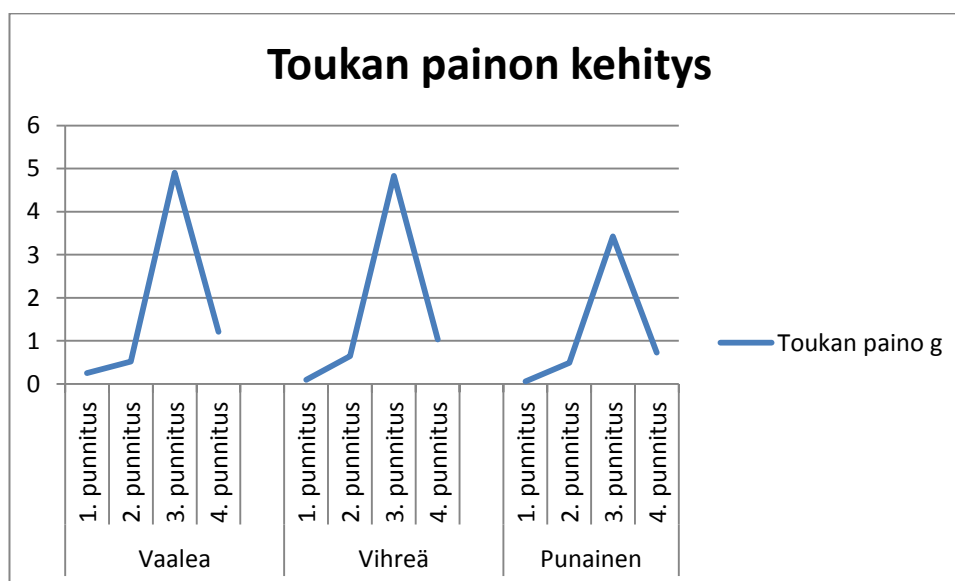
5.5 Punituksen tulokset

Taulukko 4. Toukkien painot grammoina (g) keskiarvoiksi laskettuina

Vaalea kaali		Vihreä kaali		Punainen kaali	
1. punnitus	0,2518975 g	1. punnitus	0,090625 g	1. punnitus	0,05475 g
2. punnitus	0,516067 g	2. punnitus	0,6469 g	2. punnitus	0,486567 g
3. punnitus	4,905 g	3. punnitus	4,828233 g	3. punnitus	3,427333 g
4. punnitus	1,207367 g	4. punnitus	1,02828 g	4. punnitus	0,726733 g

Toukat punnittiin näiden syönnin aikana käyttäen punnitsemiseen Mettler AE 240 (USA) vaakaa.

Punnitustuloksen selkeyttämiseksi sama esitetään vielä graafisesti rinnakkaisin kasvukäyrin (kuva 10).



Kuva 10. Toukkapainon kehitys. Värillä viitataan keräkaalin lajikkeeseen.

Toukat punnittiin neljä kertaa toisen syöntikokeen aikana. Viimeiseen punnitukseen toukat olivat koteloituneet, minkä vuoksi näiden paino laski huomattavasti.



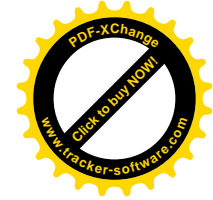
6. Tulosten tarkastelu

6.1 Peltokokeen tulokset

Kirvat olivat yleisimmin esiintynyt tuhohyönteisheimo ja kirvojen esiintyminen vastasi hyvin hypoteesia värien houkuttelevuudesta (vaalea > vihreä > punainen). Kohdassa 2.6 mainittu ” Kirvaa ei todennäköisesti suunnistuksessa ohjaa väri vaan mahdollisesti haihtuvat aineet, volatiilit. Signaali saattaa olla hajuun perustuva (Schaefer & Rolshausen 2006)”, tarkoittaen kirvan etsivän ravintonsa tuoksun perusteella, ei näyttäisi ainakaan tämän kokeen perusteella pitävän paikkansa. Tutkimuksia siitä, että väri vaikuttaisi kasvin haihtuviin yhdisteisiin ja näin ollen tuoksuun, ei löytynyt. Toteamus liittyyne syysvärrikokeisiin pihlajalla, jolloin mahdollisesti marjonta toimi kirvojen houkuttimena kasvin väriä voimakkaammin. Punaisella salaattilla esiintynyt hetkellinen kirvojen lisääntynyt esiintyminen johtui keräkaalien voimakkaasta kasvusta. Kaalit varjostivat lehdillään punaisia salaatteja johtaen näiden vihertymiseen. Varjostavien kaalinlehtien poisto palautti salaattien värin ennalleen ja samalla kirvojen esiintymisen ennalleen.

Kylmien jaksojen aikana hyönteiset selvästi vähenivät kasveilla palaten taas sään lämmitessä. Monet ennalta kirjallisuudesta tutkimalla löytyneet juuri näillä hyöty- ja koristekasveilla tyypillisesti esiintyviksi todetut hyönteislajit jäivät todennäköisesti kylmän alkukesän vuoksi kokonaan puuttumaan kasvustosta. Esimerkiksi heinäsiirkkoja ja perhosia ei koko tarkkailuaikana näkynyt lainkaan. Voimakkaiden sateiden jälkeisissä seurannoissa hyönteisten esiintyminen myös väheni hetkellisesti.

Mahdollisesti hyönteisten luontaisten vihollisten vuoksi todettu muninta ei läheskään aina johtanut kasvintuhoojahyönteisten esiintymiseen kun näiden munat oli mahdollisesti syöty ennen kuoriutumistaan. Toukkien esiintymisestä ei läheskään aina seurannut aikuisten herbivorihyönteisten esiintymistä. Peltokokeen kasveille ilmestyi herbivorihyönteisten luontaisia vihollisia, petohyönteisiä, – kuten leppäsiirkkoja, sylkikuoriaisia ja

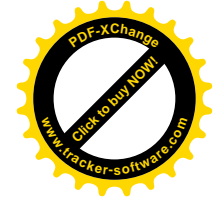


harsokorentoja – jo kasvien odottaessa istutusta pellon laidalla. Tavoite oli minimoida petohyönteisten esiintymistä perustamalla istutus mahdollisimman kauas pellon laidoista sekä ojista, missä petohyönteiset todennäköisimmin esiintyisivät. Mahdollisesti jonkinlainen verkkoaita olisi paremmin minimoinut petohyönteisten ilmaantumista, mutta toisaalta se olisi estänyt maata pitkin saapuvia herbivorihyönteisiäkin.

Selkeimmin lajike-eroja tuhohyönteisten esiintymisessä näkyi kasvilajeista keräkaalilla sekä lehtisalaatilla. Keräkaalilla vaaleanvihreäksi valittu lajike 'Glory of Enkhuizen' ja tummanvihreä 'Langedijker Bewaar', vaikka nuorina taimina olivatkin värisävyltään hyvin erilaisia, tasaantuivat värien puolesta viljelyn aikana siten, ettei niiden välillä enää ollut alkuperäistä värieroa. Alussa näkynyt trendi hyönteisten esiintymisessä näillä kahdella lajikkeella kääntyi viljelyn aikana jopa päinvastaiseksi. Punainen keräkaalilajike 'Rotkopf' pysyi koko ajan lähes vapaana tuhohyönteisistä. Lehtisalaatilla trendi pysyi koko ajan samanlaisena; vaaleimmalla lajikkeella esiintyi eniten tuhohyönteisiä, tummemman vihreällä selvästi vähemmän ja punaisella hyvin vähän tai ei ollenkaan.

Koristekasvit bataatti/aitoelämänlanka ja isokirjopeippi sekä maustekasvi basilika eivät kunnolla toipuneet kylmästä eivätkä hanhien vioituksista koko seurantakauden aikana, mikä näkyi lähes tyrehtyneenä kasvuna ja hyvin vähäisessä hyönteisten esiintymisessä kaikissa lajikkeissa. Basilikat käytännössä kuolivat pois seurannan aikana, eikä jokaisen kylmäjakson jälkeen kuolleiden yksilöiden vaihtaminen ollut mielekästä. Lopulta varakasvitkin loppuivat. Hyvin vähäistä kirvojen esiintymistä oli hetkellisesti, mutta mitään tulkintaa lajike-eroista ei taimien kuoleamisen vuoksi basilikalla voinut tehdä.

Isokirjopeipeistä herbivorihyönteisiä esiintyi ainoastaan keltalehtisellä lajikkeella, mutta toisaalta valkoposkihanhet vioittivat niitä vähiten ja sen vuoksi niissä oli eniten lehtiä.



Viimeinen seurantakerta oli elokuun 9. päivä, monta viikkoa jatkuneen lämpimän jakson jälkeen. Seurantajaksolla heikosti kasvaneet lajit ja lajikkeetkin olivat tällöin vihdoinkin toipuneet ja alkaneet kasvaa, mikä toi mukanaan muutoksen. Keräkaaleilla kaalikoin vioitus ja toukkien esiintyminen oli siirtynyt ulkolehtien alapinnoilta sisälehtien sisäpinnoille. Vihreät keräkaalit olivat voimakkaasti kaalikoin toukkien vioittamia. Salaatit olivat kukassa ja kasvaneet noin 1,5 metrin korkuisiksi eikä niillä esiintynyt enää mitään herbivorihyönteisiä, ainoastaan pölyttäviä hyönteisiä. Bataateilla ei näkynyt hyönteisiä, mutta reikäistä syöntivioitusta oli ja nyt eniten keltaisella lajikkeella, hieman vihreällä ja ei lainkaan punaisella. Vioitus vaikutti mahdollisesti yökköstoukkien aiheuttamalta. Isokirjopeipit olivat alkaneet kasvaa, mutta ainoastaan keltaisella lajikkeella esiintyi hyönteisiä.

Lämpötilat avomaalla on esitetty kohdassa 4.4.4, kuvassa 2 ja liitteessä 5.

6.2 Syöntikokeen tulokset

Aiemmissa Awmackin sekä Maskaton ym. kokeissa (Awmack 2002, Maskato ym 2014) oli todettu kaaliperhosen toukan joutuvan syömään punaista kaalia enemmän kuin vihreää saadakseen tarvitsemansa ravintomäärän. Tulos toistui nyt suoritettussa syöntikokeessa. Aluksi tosin vaaleinta keräkaalia syötiin eniten, mikä antaisi viitteitä värin sekundaarimetaboliittien myötä vaikuttavaan makuun ja maittavuuteen toukille. Yhteyttämistuotteiden allokoituminen punaisen värin valmistukseen (Manetas 2005) viittaisi siihen, että typen ja hiilihydraattien vähyys pakottaisi hyönteisen syömään punaista kasvia enemmän lopulta.

6.3 Haittaeläimet

Koealueella tavatuista jäniksistä (*Lepus timidus* L.) tai rusakoista (*L. europaeus* L.) ei koealan rastasverkolla suojaamisen ansiosta (kuva 3) tullut ongelmaa. Useimmat koekasvit olisivat todennäköisesti vahingoittuneet huomattavasti näiden ruokailusta. Verkko tuettiin alueen ympärille 1,8 m



mittaisten puuseipäiden varaan ja toimenpide oli riittävä suurempien eläinten poissa pitämiseksi estämättä kuitenkaan hyönteisten liikkumista.

Viikin pelloilla ajoittain hyvin runsaslukuisina esiintyvät valkoposkihanhet (*Branta leucopsis* L.) vahingoittivat koekasveja huomattavasti. Vioitusta alkoi näkyä 16.6. alkaen ja sitä kesti heinäkuun alkuun asti. Hanhet sekä repivät kasveja laiduntaessaan, että talloivat niitä. Sirkkalehtien alapuolelta taittuneina siementaimet eivät olisi enää jatkaneet kasvuaan. Pahiten hauraina kasveina vioittuivat isokirjopeipin (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd) taimet, joista useimmat olivat taittuneet lähes poikki. Hyönteistarkkailua häiritsivät myös hanhien runsaat ulosteet kasveilla, minkä vuoksi oli välttämätöntä käyttää kertakäyttökäsineitä kasveja pellolla käsiteltäessä. Aitaaminen verkolla esti hanhien laskeutumisen koealalle.

Hanhien ruokailun aiheuttama vioitus vaurioitti kokeeseen valituista kasveista erityisesti sukuja *Solenostemon* ja *Ipomoea*, jotka eivät seuranta-aikana kunnolla toipuneet. Näiden kasvu jäi hyvin heikoksi vaikuttaen todennäköisesti hyönteisten esiintymiseen niillä. Hyönteiset oletettavasti ruokailevat mieluiten nuorilla kasvinosilla, joita näillä kasveilla ei ollut kasvun tyrehdyttyä.

6.4 Maaperän vaikutus

Koealalla oli aiemmin viljelty viljaa. Koealan maaperä hiuesavi (HeS) piti hyvin kosteuden, vaikka tuulen, kitkennän ja melko vähäisen rikkakasvien esiintymisen vuoksi se olikin paljas ja alttiina kuivumiselle. Koeala oli peruslannoitettu ja kertaluonteisesti annettu ravinnemäärä riitti koekasvien normaaliin kasvuun kasvukauden ajaksi. Runas kastelu olisi saattanut edellyttää lisälannoitusta, mutta ravinnepuutoksista ei näkynyt oireita. Riittävien sateiden ansiosta kastelua tarvittiin lähinnä kasvien juurtumisaikana, joten keskittyminen hyönteisseurantaan hoitotoimien sijaan oli mahdollinen.



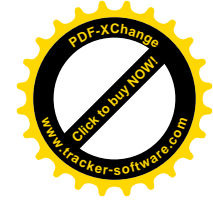
6.5 Tilastollinen merkittävyys

Hypoteesien testaamiseen täydellisesti satunnaistetussa kokeessa tarvitaan tieto tilastollisesta merkittävydestä. Nollatuloksen testaamiseen onko kasvilajikkeiden värillä merkitystä, ilmaisee P-arvo, joka kertoo voiko tulos olla sattuman aikaansaama. Testattaessa tuloksena oli $p < 0,05$ muilla paitsi lajilla 4. Tuloksista, käyttäen Poisson-jakauman lineaarista mallia ja testaten R-ohjelmassa, voidaan nähdä, että kunkin lajin ero lajin keskiarvosta on merkitsevä, paitsi lajin 4, ja kunkin värin ero värien keskiarvosta on merkitsevä. Tilastollinen tarkastelu (liite 4) näyttää nollahypoteesin olevan väärä ja hypoteesin värin merkityksestä hyönteisten esiintymiseen sekä hyönteistuhojen määrään toteutuneen.

Syöntikoe toteutui kuten Maskaton ym vihreällä ja punaisella kaalilla toteuttamassa kokeessa (Maskato ym. 2014), jossa toukan täytyi kehittyäkseen syödä punaista kaalia selvästi enemmän kuin vihreitä kaaleja. Nyt toteutetussa kokeessa, jossa oli kolmen väristä kaalia, ero vaaleamman ja tummemman vihreän kaalin kesken ei ole kovin suuri. Mahdollisesti punainen kaali maistui epämiellyttävälle punaisen värin kehittymisen myötä syntyneiden aineenvaihduntatuotteiden myötä, mistä johtuen toukat söivät sitä aluksi melko vähän. Syönnin alettua ruokailu kuitenkin kiihtyi.

Syöntikokeessa tuloksen (punnitustulokset liite 6) vaihtoehdot olivat aiempien kokeiden mukaiset, kuten nyt tapahtui, tai väristä riippumaton syönti. Kaikkia kaaleja olisi syöty yhtä paljon, mikäli lajikkeella ja sen värillä ei olisi merkitystä.

Liitteessä 3 todetaan tilastollisista tuloksista myös, että joidenkin lajien kohdalla koe toistettuna saattaisi antaa toisenlaisen tuloksen. Nyt isokirjopeipin kaikkien lajikkeiden ja bataatin kahden lajikkeen taimet kärsivät erittäin epäedullisista kasvuoloista ja tämä on saattanut vaikuttaa tulokseen. Täyden varmuuden antaisi jos sama tulos toteutuisi toistettaessa koe normaalioloissa ilman suuria lämpötilanvaihteluja ja



hanhivahinkoja. Basilikan tulokset ovat kovin vähäiset taimien kuolleisuuden oltua kylmyyden vuoksi suuri, eikä näiden perusteella voi todistella eikä kumota hypoteeseja.

6. 6 Odotukset koekasveilla tavattavista hyönteisistä

Kirvat olivat todennäköisimmin useimmilla koekasveilla esiintyvä hyönteissuku. Ne ovat yleisiä ja erityisen moni-isäntäisiä generalisteja. Useimmiten kirvat eivät lisäännä suvullisesti kasvukaudella vaan ovat jo syntyessään hedelmöitettyjä ja kloonaavat itsensä synnyttämällä eläviä hedelmöitettyjä jälkeläisiä. Ne voivat esiintyä suurina tiheinä kolonioina. Yksittäinen kirva voi tuottaa 5,9 miljardia jälkeläistä kuudessa viikossa ja suuret määrät vahingoittavat kasveja suuresti. Syksyllä siivelliset kirvat etsivät sopivan talvi-isännän (puuvartisen) ja munivat tässä vaiheessa hedelmöitettyt munansa puiden oksilla (Chittka ja Döring 2007). Kaaleilla oletettiin esiintyvän kaalikirvoja (*Brevicoryne brassicae* L.), tosin kiiltäväpintaisilla lajikkeilla vähemmän kuin vahapintaisilla. On todettu joko värin tai heijastuneen valon voimakkuuden vaikuttaneen isäntäkasvin valintaan *Brevicoryne brassicae*lla; punakaalit houkuttivat kirvoja vähiten, mutta niille päätyessään kirvojen lisääntyminen oli tehokkainta (Justus ym. 2000).

Ristikukkaisilla kasveilla (Cruciferae), kuten keräkaalilla (*Brassica oleracea* L.) kirvojen lisäksi Acta Entomologica Fennica (Vappula 1962) toteaa esiintyvän seuraavia hyönteisiä: pihtihäntäiset (Dermaptera), nivelkärsäiset (Hemiptera), kovakuoriaiset (Coleoptera) kirpat (Phyllotreta), rapsikuoriaiset (*Meligethes aeneus* Fabr.), ruskohaiskiainen (*Aclypea opaca* L.), kärsäkkäät (*Otiorrhynchus* ja *Ceuthorrhynchus* L.), sepät (Elateridae), kaksisiipisistä kaalikärpäset (*Hylemyia*), perhoset (Lepidoptera) erityisesti kaaliperhonen (*Pieris brassicae* L.), kaalikoi (*Plutella xylostella* L.), kaalikoisa (*Evergestis forficalis* L.) sekä yökköset.

Kirppoja (*Phyllotreta cruciferae* Goeze) oletettiin löytyvän ainoalta ristikukkaisten kasvien edustajalta kaalilta. Näidenkin oletettiin syövän vähemmän vahapintaisia kaaleja ja syöntikuvioiden olevan epätyypillisiä



(Justus ym. 2000). Kaalikoin (*Plutella xylostella* L.) toukat liikkuvat nopeammin ja käyttävät enemmän aikaa ravinnon etsimiseen ohutvahaisilla kasveilla. Kiiltävillä kaaleilla kaalikoin toukkien kuolleisuus on suurempi, johtuen pidemmästä ravinnonottoaikan etsintäajasta altistaen vastasyntyneen toukan saalistajille. (Justus ym. 2000)

Kaalikärpänen (*Hylemyia*) laskeutuu useimmiten vihreille kasveille ja harvemmin sinertävän näköisille vahapintaisille. Kaalikoin muninta tapahtuu hämärissä, joten valo ja spektrinen näkökyky ei vaikuta samalla lailla munintaan ja isäntäkasvin erottumiseen. Parafiinit yhdessä glukosinolaattien kanssa ovat kokeissa lisänneet kaalikoin munintaa. Kaalikoi munii mieluiten uloimpien lehtien ulkopinnoille ja sisimpien lehtien sisäpinnoilla (Justus ym. 2000). Naurisperhosen (*Pieris rapae* L.) on todettu viljelykokeessa kiinnostuneen vähemmän punaisesta parsakaalista kuin vihreästä (Norris ja Kogan 1980; s. 41–42). Kaalikoi *Plutella maculipennis* sekä monet muut suosivat pintoja joissa on pieniä halkeamia ja kuoppia (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133). Jopa kun hyönteinen munii isäntäkasvin tyvelle, kuten kaalikärpänen, on maamurusten oltava juuri oikean kokoisia (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Kaaliperhosen *Pieris brassicae* on todettu valitsevan pellolta ne kasviyksilöt muninta-alustaksi, joilla tavanomaista korkeammat arvot haihtuvia allyyliiniä (Beck ja Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Asterikasveista (Asteraceae) salaatilla Vappulan (1962) mukaan tavallisia olisivat ripsiäiset (Thysanoptera), nivelkärsäiset (Hemiptera), kirvat (Aphididae), kovakuoriaisista (Coleoptera) ruskohaiskiainen (*Aclupea opaca* L.), sepät (Elaridae), kaksisiipisistä miinaajat (Diptera: Agromyzidae) ja lisäksi perhoset (Lepidoptera), yökköset ja punkit (Acari).

Kiertokasveihin (Convolvulaceae) kuuluvilla bataatilla ja aitoelämänlangalla ainakin näiden eteläisemmällä tuotantoalueilla yleisiä tuhoja kasveilla aiheuttavat hyönteiset ovat kuoriaisia (Coleoptera), jauhiaisia (Aleyrodoidea), kirvoja (Aphididae), perhostoukkia (Lepidoptera; kiitäjät,



yökköset), kirppoja (*Phyllotreta*), heinäsiirkkoja, luteita (Hemiptera) ja ripsiäisiä (Thysanoptera) (Reed ym. 2009, UIE 2014).

Avomaan koristekasveja (kokeessa huulikukkainen (Lamiaceae): *Solenostemon scutellarioides* L. (ent. *Coleus blumei*)) vioittavat yleisesti (Vappula 1962) pihtihäntäiset (Dermaptera), ripsiäiset (Thysanoptera), nivelkärsäiset (Hemiptera), sylkikaskas (*Philaenus spumarius* L.), kirvat (Aphididae), jauhiaiset (*Aleyrodoidea*), kovakuoriaisista (Coleoptera) ruskohaiskiainen (*Aclupea opaca* L.), kirpat (*Phyllotreta*) ja myös kärsäkkäät (*Curculionidae*), perhosen (Lepidoptera) toukat; päiväperhoset, kehrääjät sekä yökköset. Ainakin huonekasveina ongelmia voivat tuottaa villakilpikirva, kilpikirvat, kirvat ja jauhiaiset. Myös huulikukkaisiin kasveihin kuuluvaa basilikaa (*Ocimum basilicum* L.) saattaa vioittaa satunnaisesti Suomessa esiintyvä kulkuyökkönen (*Spodoptera exigua*), kirpat (*Phyllotreta*) ripsiäiset (Thysanoptera), jauhiaiset (*Aleyrodoidea*) sekä heinäsiirrat (Orthoptera) (EHE 2014).

7. Johtopäätökset

7.1 Kokeen tulokset suhteessa kokeen alkujärjestelyihin

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko valitun kasvilajikkeen värillä vaikuttaa herbivorihyönteisten esiintymisrunsautteen kasvintuotannossa. Tulosten perusteella tämä olisi mahdollista. Lisäksi haluttiin tutkia esiintyykö eroa syöntikokeeseen valittujen kasvilajikkeiden maistuvuudessa, sekä vaikuttaako lajikkeen väri toukan kasvuun. Maistuvuudessa on todennäköisesti eroa, mutta värillä ainakin oli selvästi yhteyttä kehitykseen.

Tutkimus tuotti selkeitä tuloksia, joita voidaan hyödyntää kasvintuotannon tarpeisiin sekä ennen kaikkea mahdollisiin jatkotutkimuksiin. Käytetyt koejärjestelyt olivat käyttökelpoiset.



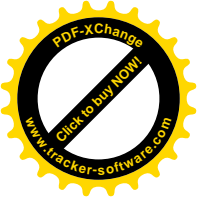
7.2 Suositukset ja jatkotutkimukset

Nyt suoritetun kokeen ongelmana olivat useat kylmäjaksot ja näiden myötä epänormaali usean tavallisen tuhohyönteisemme puuttuminen koko tarkkailujaksolta. Koe olisi syytä toistaa normaalien kesäolosuhteiden vallitessa. Tällöin viljelmillä yleensä esiintyvän hyönteisfaunan yhtäkertainen esiintyminen olisi todennäköistä ja tuloksista saataisiin kattavammat.

Koristekasvien lajivalintaan vaikutti hyvien, toisistaan selkeästi erottuvien lajikkeiden olemassaolo, monilla lisättävyys siemenestä ja se, että näillä kirjallisuustietojen mukaan todennäköisesti esiintyisi tuhohyönteisiä. Suositeltavampaa olisi ensisijaisesti etsiä sääolojen osalta kestävämpiä lajeja kokeisiin.

Viimeisen tarkkailukerran perusteella vaaleimmilla koristekasvien lajikkeilla löytyneet hyönteiset tai näiden aiheuttamat vioitukset houkuttelisivat päättelämään hypoteesin voivan toteutua lopulta niilläkin, mutta yksi tuloksellinen tarkkailukerta ei anna oikeutta vetää tällaista johtopäätöstä. Vastaava koe olisi hyvä toteuttaa, mutta saman tien suuremmassa mittakaavassa: esimerkiksi biologiseen tuotantoon pyrkivällä kaalitulalla tuholaishyönteis- ja vioitusseurantana ja samanaikaisesti esimerkiksi saman kasvilajin lehdistöltään usean värisiä herbivorihyönteisille alttiita lajikkeita kasvattavalla taimitarhalla vertailevana tutkimuksena. Tarvitaan punalehtisyyteen liittyviä syöntikokeita muilla hyönteisillä kuin kirvoilla (Lev-Yadun & Gould 2009). Nyt toteutettu syöntikoe kaaliperhosen toukilla on toteutettu aiemmin (Moskato 2014), mutta kokeessa vertailtiin ainoastaan vihreää sekä punaista kaalia toukkien ravintona. Mainittuun kokeeseen liittyvässä peltokokeessa todettiin, ettei kaaliperhonen muni punaiselle kaalille. Saman ilmiön toistumista ei voitu tällä kokeella vahvistaa, koska perhosia ei esiintynyt Viikin pellolla lainkaan.

Vaikka värillä näytti olevan suuri merkitys herbivorihyönteisten esiintymisrunsautteen ainakin keräkaalilla ja lehtisalaatilla tässä kokeessa, voi lajikkeissa esiintyä muita valintaperusteita. Tässä kokeessa erityisesti

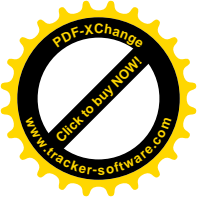


keräkaalin vihreät lajikkeet kasvoivat huomattavasti suuremmiksi kuin punaiset eli olivat satoisampia. Täytyy muistaa, että koelajikkeet valittiin ainoastaan värinsä perusteella kokeeseen, eivät satoisuutensa johdosta. Punakaalista saattaa olla olemassa huomattavasti satoisampia lajikkeita kuin mitä nyt käytetty 'Rotkopf' oli ja kokeeseen voisi olla hyvä valita lajikkeita jotka vastaisivat toisiaan kasvuvoiman osalta.

Keräkaalin lajikkeita kasvatettiin alun perin useita (5) erilaisia ja näistä valittiin taimikasvatuksen aikana aistinvaraisin perustein kasvihuoneessa tummin ja vaalein jatkokasvatukseen sekä koejäseniksi. Pelto-oloissa värierot näyttivät tasaantuvan ja tämän arveltiin johtuvan lajikkeiden erosta lehtien vahakerroksen paksuudessa eikä niinkään värissä. Siitä huolimatta eroa vioituksessa esiintyi.

Värillä näytti olevan sekä kirjattujen tulosten että tilastollisen tarkastelun perusteella merkitystä. Tätä tulosta voisi hyödyntää sekä mainituissa jatkokokeissa, itse kasvintuotannossa ja myös suojakasvien käytössä. Koska voitiin todeta ainakin kahden kasvilajin käyttäytyvän hypoteesin mukaisesti, voisi herbivorihyönteisille houkuttelevimpia lajikkeita kasvattaa tuotantokasvin ympärillä tai läheisyydessä houkuttamaan tuhohyönteisiä näille ruokailemaan mieluummin tai siirtymään näille tullakseen käsitellyiksi kasvinsuojeluaineilla. Perimässä löytyvin keinoin saattaisi kasvinjalostuksen avulla olla mahdollista saada suurin hyöty resistenssin muodossa hyönteisiä vastaan (Beck & Schoonhoven 1980; s. 122–133).

Syöntikoe oli pienimuotoinen, koska kaaliperhosen toukkia oli lähes mahdoton löytää. Nokkosperhosen toukilla suoritettavaksi suunnitellun syöntikokeen väistämätön pois jääminen oli valitettavaa. Vastaavia värien vaikutukseen ja hyönteistoukan kehitykseen liittyviä kokeita kannattaisi järjestää muillakin lajeilla lähinnä sen selvittämiseksi, pitääkö oletus punaisen kasvin heikosta ravitsemuksellisesta tilasta paikkansa ja vastaavasti vaaleiden kasvein hyvä ravinnetila. Kasvintuotannon tehokkuuden kannalta tärkeämmältä tuntuisi selvittää onko



houkuttelevuustrendi keltainen > vihreä > punainen paikkansa pitävä useimmilla tuotantokasveilla. Todennäköistä on, että viljoissakin löytyisi testaukseen punertavia, sinertäviä ja kellertäviä lajikkeita.

8. Kiitokset

Haluan kiittää ohjaajaani maatalouseläintieteen professori, FT Heikki M.T. Hokkasta arvokkaista neuvoista ja avusta kokeideni suunnittelussa ja suorittamisessa ja kenttämestari Terttu Parkkaria kaikista käytännön järjestelyistä. Kiitän myös yliopistonlehtoreita Päivi Lyytikäinen-Saarenmaata sekä Jarkko Isotaloa avustansa tutkimuksen hahmottamisessa. Erityiset kiitokset haluan antaa matemaatikko, FT Jukka Rannalle Eviran riskinarvioinnin tutkimusyksiköstä tilastollisen arvioinnin kanssa työskentelystä.

Lähteet

Archetti, M. et al. 2008. Unravelling the Evolution of Autumn Colours: an Interdisciplinary Approach. *Trends in ecology and Evolution*, vol. 24, No. 3. 2008 Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.tree.2008.10.006. pp 166-173.

Archetti, M. 2009. Evidence from the domestication of apple for the maintenance of autumn colours by coevolution. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*, doi: 10.1098/rspb.2009.0355 first published online 15 April 2009 276. Downloaded from rspb.royalsocietypublishing.org on October 25, 2014.

Awmack, C.S., Leather, S.R. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual review of entomology*, 2002, 47:817-844. – www.annualreviews.org,



<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ento.47.091201.145300>, viitattu 8.4.2014

Beck, S.D. & Schoonhoven, L.M. 1980. Insect Behaviour and Plant Resistance. Teoksessa: Maxwell, F.G. & Jennings, P.R. (ed.). 1980. Breeding Plants Resistant to Insects. John Wiley & Sons, Inc., Environmental Science and Technology, New York 1980. pp 122-133.

Bernays, E.A., Chapman, R.F. 1994. Host-plant selection by phytophagous insects. books.google.com,
http://www.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=v7mVqIC3PNQC&oi=fnd&pg=PR1&dq=effect+of+leaf+colour+on+insect+herbivory&ots=h6viMuKrgD&sig=cKdfnVGhpDWUKMiXPpeJzCu8ZlY&redir_esc=y#v=onepage&q=effect%20of%20leaf%20colour%20on%20insect%20herbivory&f=false, viitattu 8.4.2014

Campitelli, B.E., Simonsen, A.K., Wolf, A.R., Manson, J.S. Stinchcombe, J.S. 2007. Leaf shape variation and herbivore consumption and performance: a case study with *Ipomoea hederacea* and three generalists. *Arthropod-Plant Interaction* (2008) 2:9, 19, Springer Science+Business Media B.V. 2008

Campitelli, B.E., Stehlik, I., Stinchcombe, J.R. 2007. Leaf variegation is associated with reduced herbivore damage in *Hydrophyllum virginianum*. *Botany*, 2008 NRC Research Press.
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/b07-139>.

Chittka, L. & Döring, T.F.. 2007. Are Autumn Foliage Colors Red Signals to Aphids? *PLoS Biology* 5(8): e187.doi: 10.1371/journal.pbio.0050187. Open Access. pp 1640-1644.

Coley, P.D., Bateman, M.L. & Kursar, T.A. 2006. The Effects of Plant Quality on Caterpillar Growth and Defence Against Natural Enemies. *OIKOS* 2006, ISSN 0030-1299. *OIKOS* 115: 2 (2006). pp 219-228.

Coviella, C. and J. Trumble. 1999. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Conserv. Biol.* 13:700-712.



Finch, S. and Jones, T.H. 1989. An analysis of the deterrent effect of aphids on cabbage root fly (*Delia radicum*) egg-laying. *Ecological Entomology*, Vol 14, Issue 4, pp 387–391, November 1989. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1989.tb00940.x, viitattu 8.4.2014

Gallun, R.L. & Gush, G.S. 1980. Genetic Factors Affecting Expression and Stability of Resistance. Teoksessa: Maxwell, F.G. & Jennings, P.R. (ed.). 1980. *Breeding Plants Resistant to Insects*. John Wiley & Sons, Inc., Environmental Science and Technology, New York 1980. pp 74-75.

Hamilton, W.D. & Brown, S.P. 2001. Autumn tree colours as a handicap signal. *Proceedings Royal Society. Biological sciences* [0962-8452] vol:268 nr:1475 s:1489 -1493

Hunter, M.D. 2001. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Ag. Forest. Entomol.* 3:153-159.

Jiu, M. et al. 2007. Vector-Virus Mutualism Accelerates Population increase of an Invasive Whitefly. DOI: 10.1371/journal.pone.0000182. Creative Commons Attribution open access article (Jiu) <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0000182>

Justus, K.A, Dosdall, L.M. & Mitchell, B.K. 2000. Oviposition by *Plutella xylostella* (Lepidopter: Plutellidae) and Effects of Phylloplane Waxiness. *Journal of Economic Entomology*, 93(4): 1152-1159, 2000. Entomological Society of America. DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-93.4.1152>. BioOne.

Karageorgou, P., Manetas, Y. 2005. The importance of being red when young: anthocyanins and the protection of young leaves of *Quercus coccifera* from insect herbivory and excess light. *Tree Physiology* 26, 613-621, 2006, <http://treephys.oxfordjournals.org/> by guest on April 6, 2014



Karageorgou, P., Buschmann, C. & Manetas, Y. 2007. Red Leaf Color as a Warning Signal Against Insect Herbivory: Honest or Mimetic? Elsevier GmbH 2008. Science Direct, Flora 203 (2008). pp 648-652

Lev-Yadun, S. & Gould, K.S. 2007. What Do Red and Yellow Autumn Leaves Signal? The Botanical Review 73(4): 279-289. The New York Botanical Garden, 2007. pp 279-289.

Lev-Yadun, S. & Gould, K.S. 2009. Role of Anthocyanins in Plant Defence. K. Gould et al. (eds.), Anthocyanins, DOI: 10.1007/978-0-387-77335-3_2. Springer Science+Business Media, LLC 2009. pp 21-48.

Loader, C. & Damman, H. 1990. Nitrogen Content of Food Plants and Vulnerability of *Pieris rapae* to Natural Enemies. JSTOR: Ecology, vol. 72, No. 5. Ecological Society of America 1991.

Manetas, Y. 2005. Why some leaves are anthocyanic and why most anthocyanic leaves are red? Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2006 vol. 201, issue 3, 163-177- Elsevier, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253005001258> viitattu 8.4.2014

Markwick, N.P., Poulton, J., Espley, R.V., Rowan, D.D., McGhie, T.K., Wadasinghe, G., Wohlers, M., Jia, Y., Allan, A.C. 2013. Red-foliaged apples affect the establishment, growth, and development of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana*. Entomologia Experimentalis et Applicata Volume 146, Issue 2, pages 261–275, February 2013. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eea.2012.146.issue-2/issuetoc>

Maskato, Y., Talal, S., Keasar, T., Gefen, E. 2014. Red foliage color reliably indicates low host quality and increased metabolic load for development of an herbivorous insect. Arthropod-Plant Interactions, DOI 10.1007/s11829-014-9307-2

Merkhou, F., Mahmoodi, L., Mouavi, M. 2013. Nutritional indices parameters of large white butterfly *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae)



on different cabbage crops, Academic journals Vol. 8(25), pp. 3294-3298, 4 July, 2013 (African journals of Agricultural Research) katsottu 30.5.2014 pp. 203-222. (Hammerstein)

Niles, G.A. 1980. Breeding Cotton for Resistance to Insect Pest. Teoksessa: Maxwell, F.G. & Jennings, P.R. (ed.). 1980. Breeding Plants Resistant to Insects. John Wiley & Sons, Inc., Environmental Science and Technology, New York 1980. pp 352-355.

Norris, D.M. & Kogan, M. 1980. Biochemical and Morphological Bases of Resistance. Teoksessa: Maxwell, F.G. & Jennings, P.R. (ed.). 1980. Breeding Plants Resistant to Insects. John Wiley & Sons, Inc., Environmental Science and Technology, New York 1980. pp 41-42.

Phippen, W.B. & Simon, J.E. 1998. Anthocyanins in Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 1998, 46, 1734-1738. American Chemical Society DOI: 10.1021/j970887R.

Prokopy, R.J., Owens, E.D. 1983. Visual detection of plants by herbivorous insects. Annual review of entomology, 1983, www.annualreviews.org, <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.en.28.010183.002005> viitattu 8.4.2014

Reed, J.T., Fleming, T.L. Schiefer, D., and Jackson, C.S. 2009. Insects Associated with Sweetpotato, *Ipomoea batatas* (L.), in Mississippi. Midsouth Entomologist 2: 10-16, ISSN: 1936-6019. http://midsouthentomologist.org.msstate.edu/pdfs/Vol2_1/vol2-1_002.pdf.

Schaefer, H.M., Wilkinson, D.M. 2004. Red leaves, insects and coevolution: a red herring? Trends in ecology & evolution, Volume 19, Issue 12, pp 616–618, December 2004. Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534704002691>, viitattu 8.4.2014



Schaefer, H.M. & Rolshausen, G. 2005. Plants on Reds Alert: Do Insects Pay Attention? *BioEssays* 28.1 Problems and Paradigms. Wiley Periodicals Inc. 2005. pp 65-71

Schaefer, H.M. & Rolshausen, G. 2007. Aphids do not attend to leaf colour as visual signal, but to the handicap of reproductive investment. *Biology Letters*, 22 February 2007 vol. 3 no. 1 1-4
<http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/3/1/1/F1.expansion.html>. Viitattu 8.4.2014.

Swain, T. 1977. Secondary compounds as protective agents_ *Annual Review of Plant Physiology*, 1977,
<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pp.28.060177>, viitattu 11.4.2014

Treutter, D. 2006. Significance of Flavonoids in Plant Resistance: a Review. *Environ Chem Lett* (2006) 4: 147-157. Springer-Verlag DOI 10.1007/s10311-006-0068-8.

Vappula, N.A. 1962. Suomen viljelykasvien tuhoeläinlajisto. *Annales Agriculturae Fenniae*, Maatalouden tutkimuskeskuksen aikakauskirja 1962 Supplementum 1, Vol. 1, Seria Animalia Nocentia N. 5 – Sarja Tuhoeläimet n:o 5. Maatalouden tutkimuskeskus, Tuhoeläintutkimuslaitos, Tikkurila. Helsinki 1962.

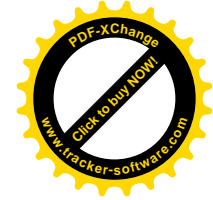
<http://www.hsy.fi/vesi/kodinvesiasiat/Sivut/Useinkysyttya.aspx>, 1.6.2014

<http://www.kekkila.fi/system/resources/.../Ruukkukasvit.pdf>, 7.5.2014

<http://urbanext.illinois.edu/hortanswers/plantdetail.cfm?PlantID=527&PlantTypeID=5>. University of Illinois Extension, viitattu 10.6.2014.

<http://www.extento.hawaii.edu/kbase/reports/Herbs/basil.htm> 10.6.2014.

http://maanmittauslaitos/karttapaikka/kansalaisen_karttapaikka, 3.7.2014.



Liitteet

Liite 1. Taimet

Siementaimet

Seuraavat kasvilajikkeet hankittiin siemeninä:

Laji ja lajike	Merkki	Itäv. %
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> L. 'Golden Acre Special'	Siemen	85
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> L. 'Ditmarsker' Suvipiha	95	
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> L. 'Glory of Enkhuizen'	Suvipiha	94
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> L. 'Langedijker Bewaar'	Weibulls	80
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i> f. <i>rubra</i> L. 'Rotkopf'	Suvipiha	94
<i>Lactuca sativa</i> L. 'Australischer Gele'	Bröd. Nelsons	75
<i>Lactuca sativa</i> L. 'Amerikansk Brun'	Weibulls	75
<i>Lactuca sativa</i> L. 'Salad Bowl' Lord Nelsons	75	
<i>Lactuca sativa</i> L. 'Red Salad Bowl' Lord Nelsons	75	
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Suvipiha	93
<i>Ocimum basilicum</i> L. 'Ordinary' Lord Nelsons	70	
<i>Ocimum basilicum</i> L. 'Dark Opal' Suvipiha	85	
<i>Solenostemon scutellarioides</i> (L.) Codd		
'Limelight' & 'Palisandra'	Lord Nelsons	65
<i>Ipomoea tricolor</i> L. 'Heavenly Blue'	Lord Nelsons	70
<i>Ipomoea purpurea</i> L. 'Star of Yelta'	Lord Nelsons	60

Ostotaimet

Seuraavat kasvilajikkeet hankittiin taimina:

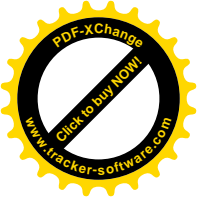
Solenostemon scutellarioides (L.) Codd 'FlamexA® Formula Mix'

Ipomoea batatas L. 'Gelb'

Ipomoea batatas L. 'Rot'

Ocimum basilicum L. 'Variegata'

Isokirjopeipin taimet (siementaimisekoitus 'FlamexA® Formula Mix') toimitettiin jo maaliskuun lopulla viikolla 12, mutta loput taimet vasta huhtikuun kolmannella viikolla, viikolla 17. Isokirjopeipeistä oli tarkoitus käyttää ainoastaan kaikkein vihreimmät taimet kokeen vihreänä verranteena. Näitä ei ole tarjolla siemeninä tai taimina sellaisinaan. Vihreitä taimia löytyi 260 pienen siementaimen seasta vain 24 kappaletta, loput olivat eri tavoin värikkäitä ja kirjavia.

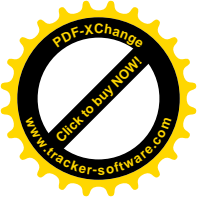


Liite 2. Taimikasvatus yksityiskohtaisemmin

Kaikkein pisimmän taimikasvatusajan vaatinut isokirjopeippi (Lamiaceae; *Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd, syn. *Coleus blumei* Benth., *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br., *Ocimum scutellarioides* L.) kylvettiin 16.3.2014. Kahden lajikkeen – ‘Limelight’ sekä ‘Palisandra’ – pakkauksessa oli 27 siementä, jotka tuottivat 10 kappaletta ensiksi mainittua ja 8 kappaletta jälkimmäistä lajiketta. Itävyys oli noin 67 % eli lähellä siemenpakkauksen ilmoittamaa 65 %. Siemenet kylvettiin kotikylvöksenä mustaan Ø 12 ruukkuun, mallia tek. Kylvö tapahtui mullan pinnalle ja peitettiin kirkkaalla muovilla kosteuden ylläpitämiseksi. Isokirjopeippi tarvitsee valoa itääkseen. Kasvualustana ruukussa oli Pirkka kukkamulta (johtokyky 14 mS/m, N-P-K 50-50-200 mg/l, pH 6,2).

Suurimmalle osalle kokeeseen tarvittaville kasveille kasvatus aloitettiin 3.4.2014 kylvämällä ne kasvihuoneessa ja kylvön jälkeen peittämällä ne kirkkaalla muovilla hyvän itämiskosteuden ylläpitämiseksi. Tällöin kylvettiin työntämällä sormin siemenet yksitellen ruukkuihin noin 20 mm syvyyteen *Ipomoea tricolor* L. ‘Heavenly Blue’. Lisäksi kylvettiin kaalilajikkeet ‘Glory of Enkhuizen’, ‘Golden Acre Special’, ‘Rotkopf’, ‘Ditmarsker’ sekä ‘Langedijker Beewaar’. Näiden siemenet kylvettiin keskimäärin 4 siementä/ruukku, kevyesti mullalla peittäen.

Kylvöruukut olivat Ø 60 mm mustia neliskulmaisia vefi -ruukkuja ja niitä ladottiin mustiin muovilaatikoihin 4 x 7 kappaletta, eli yhteensä 28 kappaletta laatikkoa kohden. Ruukut täytettiin Kekkilän taimiseoksella, jonka N-P-K 500-90-800 mg/kg kuiva-ainetta, johtokyky 22 mS/m ja pH 6,0. Ruukut täytettiin käsin välillä sormin painamalla tiivistäen. Lopuksi ruukut kasteltiin hyvin vesijohtovedellä. Kylvön jälkeen kastelua täydennettiin vielä kastelukannulla. Kylvökset vietiin yliopiston kasvihuoneilla osastolle 030 laatikoissaan, jotka ladottiin vierekkäin osaston rullapöydälle ja peitettiin tiiviisti kirkkaalla muovilla.



Kaalin taimet alkoivat itää ja kasvaa pituutta parissa päivässä, minkä vuoksi muovi piti nostaa 300 mm pituisten kukkatikkujen avulla irti taimista. Lajike 'Langedijker Beewaar' iti kaikkein hitaimmin. Jo 7.4.2014 muovikatteen päädyt piti avata, jottei lämpötila sen alla tulisi korkeaksi ja vahingoittaisi taimia.

Päivänsinen (*Ipomoea tricolor* L. 'Heavenly Blue') itäminen oli hyvin heikkoa ja 7.4.2014 oli tarpeellista toistaa kylvö uudella annoksella. Uudet siemenet kylvettiin samoihin sellaisiin ruukkuihin, joissa itämistä ei ollut tapahtunut.

11.4.2014 tehdyn kotikylvöksen isokirjopeipin (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd) lajikkeet 'Limelight' ja 'Palisandra' koulittiin 60 mm taimiruukkuihin, samaten vihreimmät taimet *Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd 'FlamexA® Formula Mix' taimikennostosta. Vihreimpiä isokirjopeippejä ruukutettiin 24 kappaletta. 300 mm kukkatikut laitettiin jokaisen 28 ruukkua sisältäneen laatikon kahteen vastakkaiseen nurkkaan ennen kirkkaalla muovilla huputtamista harmaahomeen välttämiseksi ja ilma- ja kasvutilan lisäämiseksi.

Vasta 12.4.2014 keräkaalin lajike 'Langedijker Bewaar' oli alkanut itää. Taimet olivat hyvin pieniä suhteessa muihin kaalilajikkeisiin.

Päivänsinen (*Ipomoea tricolor* L. 'Heavenly Blue') muutama itänyt taimi nostettiin ruukuistaan ja palautettiin takaisin pitkien juurten saamiseksi takaisin ruukun sisälle näiden kasvettua ulos jo lähes 50 mm.

14.4.2014 kylvettiin vihreä (*Ocimum basilicum* L.) ja punainen (*Ocimum basilicum* L. 'Dark Opal') basilika annostellen noin 5-10 siementä keskelle ruukkua, minkä jälkeen siemenet peitettiin kevyesti mullalla ja laitettiin kirkas muovi päälle kosteutta pitämään. Kumpakin väriä kylvettiin 14 ruukkuun. Toista vihreää basilikaa (*Ocimum basilicum* L. 'Ordinary') ei kylvetty lainkaan, koska se osoittautui olevan samaa lajiketyyppiä jo kylvetyn vihreän basilikan kanssa. Kirjavalehtinen basilika (*Ocimum*



basilicum L. 'Variegata') oli tilattu vaalealehtiseksi lajikkeeksi kokeessa, koska siemenvalikoimissa ei löytynyt tarpeeksi vaaleata vaihtoehtoa.

17.4.2014 vihreä basilika oli alkanut itää.

19.4.2014 muovi otettiin pois basilikan päältä. Basilika oli itänyt hyvin ja oli sirkkalehtiasteella. Vääränvärisiä isokirjopeippejä (*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd) iti vielä jälkeensä koulittujen vihreiden taimien tyvellä ja nämä ei-toivotut poistettiin. Vihreät taimet olivat kasvaessaan saaneet vaaleakeskustaiset lehdet eli vihreän osuus oli vähentynyt.

Päivänsinen (*Ipomoea tricolor* L. 'Heavenly Blue') itäminen oli edelleen hyvin heikkoa. Taimia oli kehittynyt kahdesta annospussista noin 5 tainta, joista vain yksi kasvoi hyvin. Tulos vastasi vain noin 6 % itävyyttä luvatus 70 % sijaan. Koska päivänsinen oli tarkoitus toimia punalehtisen ja keltalehtisen bataatin (*Ipomoea batatas* L.) vihreänä verranteena kokeessa jäi ainoaksi ratkaisuksi korvata laji toisella ja tyhjiin ruukkuihin kylvettiin aitoelämänlanka *Ipomoea purpurea* L. 'Star of Yelta'.

Keräkaalien (*Brassica oleracea* L.) ruukuista nipistettiin käsin pois ylimääräiset taimet ja vahvin yksilö jätettiin ruukkua kohden. Kaaleissa oli tässä vaiheessa kaksi kasvulehteä sirkkalehtien lisäksi.

25.4.2014 aitoelämänlanka (*Ipomoea purpurea* L. 'Star of Yelta') oli alkanut itää hyvin.

28.4.2014 salaatit (*Lactuca sativa* L.) kylvettiin 5 mm syvään n. 10 siementä/ruukku ja kylvös peitettiin kirkkaalla muovilla. Aitoelämänlanka 'Star of Yelta' oli jo hyvässä kasvussa. Keräkaalien ruukusta ulos tulevat juuret katkaistiin. Vihreät keräkaalit olivat tässä vaiheessa vielä kovin samanvärisiä.

2.5.2014 keltaiset ja punaiset bataatit (*Ipomoea batatas* L.) sekä *Ocimum basilicum* 'Variegata' koulittiin ruukkuihin. Kirjavan basilikan taimien seassa oli paljon harmaahomeisia (*Botrytis cinerea*) yksilöitä.



5.5.2014 salaatit (*Lactuca sativa* L.) olivat alkanet itää ja kasvaa. Kirkas muovi poistettiin. Kaikkien salaattilajikkeiden taimet olivat vihreitä. Muutama *Ocimum basilicum* L. 'Variegata' korvattiin terveillä yksilöillä.

7.5.2014 *Solenostemonin* juuret alkavat tulla ulos ruukuista. Uusi *Ipomoea* -lajike kasvaa hyvin. Punainen salaatti alkaa punertua ja kaikki salaatit kasvavat hyvin.

8.5.2014 kasvatetuista vihreistä keräkaaleista valittiin vaalein aistinvaraisin perustein. Vaaleaksi lajikkeeksi oli valittu 'Glory of Enkhuizen', vihreä lajike oli 'Langedijkeer Bewaar' ja punainen oli 'Rotkopf'. Lajikkeista peltokokeeseen valittaviksi hylättiin 'Ditmarsker' ja 'Golden acre'. Yksi taimista poistettiin *Alternaria* -sienen saastuttamana. Lehtisalaatit olivat värittyneet lisää ja saivat lannoitekastelun.

9.5.2014 basilikat karsittiin jättäen jäljelle 1 kpl/ruukku.

10.5.2014 salaatit harvennettiin 3 kpl ruukkua kohden. Voitiin todeta, että lajike 'Red Salad Bowl' ei ollut kovin puhdasta, lähes puolet ensin itäneistä taimista oli vihreitä. *Solenostemoneista* poimittiin pois huonoja tai lusikkamaisia lehtiä ja kellastuneita alalehtiä. *Solenostemon* 'Limelight' oli alkanut muuttua osin keltapilkkuiseksi, mutta muuten värit olivat tasaisia ja hyviä.

Keräkaalit nostettiin ruukuistaan, jotta juuret saataisiin takaisin sisäpuolelle. Jokainen lajikkeista laitettiin omaan laatikkoonsa ilman pohjaturvetta estämään yhteen juurtumista. 'Glory of Enkhuizen'issa yksi taimi puuttui, kaksi oli heikkoja ja yksi katkesi käsiteltäessä. Kaikista peltokokeeseen valituista lajikkeista poistettiin jäljellä olevat sirkkalehdet ja poistettujen taimien tyngät.

Kasvien määrät olivat nyt: 5 'Heavenly Blue', 25 'Star of Yelta', 10 'Limelight', 8 'Palisandra', 24 vihreää valkokeskustaista *Solenostemonia* (muistuttaa lajiketta 'Wizard Jade'), basilikoita punaista ja vihreää



kumpaakin 14 , 'Variegata' 34, bataatti punainen ja keltainen kumpaakin 28 (+ ylimääräiset) ja salaatteja 20 ruukkua kutakin lajiketta

13. ja 14.5 2014 Raid-käsittely *Ipomoea* 'Heavenly Blue'lle sekä 'Star of Yelta'lle. Syy oli runsas kalifornianripsiaissaastunta (*Frankliniella occidentalis*) kasvihuoneessa.

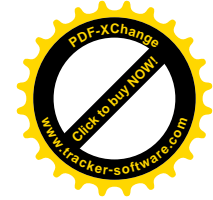
15.5.2014 oli suunniteltu istutuspäivä, mutta kylmyys esti istutuksen. Useimmat *Ipomoea* latvottiin ja lehtisalaateista 'Amerikansk Brun' todettiin turhaksi kokeen kannalta, joten vertailulajikkeina tulivat olemaan: vaalea 'Australischer Gele', vihreä 'Salad Bowl' ja punainen 'Red Salad Bowl'. yksi *Ipomoea* 'Star of Yelta' poistettiin, koska se oli sienitautisen näköinen.

17.5.2014 lehtisalaatit harvennettiin siten, että vain yksi tyypillinen taimi jäi ruukkua kohden. Lannoitekastelu tehtiin tästä eteenpäin joka kerta. *Ipomoea purpurea* 'Star of Yelta'n viimeisetkin taimet latvottiin, jotta ne haarautuisivat ja tulisivat muistuttamaan kasvutavaltaan puna- ja keltalehtistä bataattia. Ripsiäisvioletus oli vähentynyt.

20.5.2014 Istutettavat kasvit, 120 kpl, siirrettiin kasvihuoneesta verkkoseinäiseen mutta katettuun karaisutilaan. Ensimmäinen kastelu oli lannoiteliuksella, jatkossa pelkällä vesijohtovedellä. Istutus oli viivästynyt suunnitellusta kylmien säiden ja hallan vuoksi.

Liite 3. Hyönteisseurantalomake

Lomake hyönteisten esiintymisen/vioitusten seurantaan										Pvm													
Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaaliko	kaalikä	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.	Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaalikoi	kaalikär	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.
A												A											
B												B											
C												C											
D												D											
E												E											
F												F											
G												G											
H												H											
I												I											
J												J											
K												K											
L												L											
M												M											
N												N											
O												O											
Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaaliko	kaalikä	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.	Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaalikoi	kaalikär	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.
A												A											
B												B											
C												C											
D												D											
E												E											
F												F											
G												G											
H												H											
I												I											
J												J											
K												K											
L												L											
M												M											
N												N											
O												O											
Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaaliko	kaalikä	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.	Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaalikoi	kaalikär	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.
A												A											
B												B											
C												C											
D												D											
E												E											
F												F											
G												G											
H												H											
I												I											
J												J											
K												K											
L												L											
M												M											
N												N											
O												O											
Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaaliko	kaalikä	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.	Ruutu	kirvat	perhos	jauhiaiset	luteet	ripsiäiset	kirpat	kaalikoi	kaalikär	ripsiku	heinäsir	Kaalik.to.
A												A											
B												B											
C												C											
D												D											
E												E											
F												F											
G												G											
H												H											
I												I											
J												J											
K												K											
L												L											
M												M											
N												N											
O												O											
A	Brassica oleracea L. 'Glory of Enkhuizen'											Syöntijälki (per lehti tai kasvi)		Mesikastetta									
B	Brassica oleracea L. 'Langedijker Bewaar'											kpl		kyllä x									
C	Brassica oleracea L. 'Rotkopf'											0-20% pa		1									
D	Lactuca sativa L. 'Australischer Gele'											20-40 % pa		2									
E	Lactuca sativa L. 'Salad Bowl'											40-60 % pa		3									
F	Lactuca sativa L. 'Red salad Bowl'											60-80 % pa		4									
G	Solenostemon scutellarioides (L.) Codd 'Limelight'											80-100 % pa		5									
H	Solenostemon scutellarioides (L.) Codd 'FlamexA® Formula Mix'																						
I	Solenostemon scutellarioides (L.) Codd 'Palisandra'																						
J	Ipomoea batatas L. 'Gelb'																						
K	Ipomoea purpurea L. 'Star of Yelta'																						
L	Ipomoea batatas L. 'Rot'																						
M	Ocimum basilicum L. 'Variegata'											Runsaus, munaryhmitt											
N	Ocimum basilicum L.											kpl											
O	Ocimum basilicum L. 'Dark Opal'											Imentäjälki											
P	Tyhjä ruutu											kpl											



Liite 4. tilastollinen tarkastelu

Data kirjoitettuna tekstitiedostoon "DATA2.txt" seuraavaan muotoon, jossa tulkitaan laji ja väri luokkamuuttujiksi

	väri 1	2	3
laji			
1	415	447	59
2	1983	658	210
3	5	0	0
4	4	92	0
5	1	4	0

Lajit ovat liite 3:n osoittamassa järjestyksessä 1 = *Brassica*, 2 = *Lactuca* jne.

Värit ovat 1 = vaalea, 2 = vihreä ja 3 = punainen.

Mitatut lukemat ovat lukumäärämuuttujia (yhteenlasketut tulokset tutkimusjakson yli). Valittu malli: Poisson-jakauma, siten että sovelletaan yleistettyä lineaarista mallia:

$$Y[i,j] \sim \text{Poisson}(\mu[i,j])$$

$$\log(\mu[i,j]) = \mu_0 + a[i] + b[j] ; \text{ jossa } a[1]=0=b[1]$$

eli valitaan yksi kategoria vertailuryhmäksi (laji1, väri1), ja sen ryhmän odotusarvo on $\exp(\mu_0)$, ja muiden ryhmien odotusarvot ovat sitten niitä vastaavien parametrien mukaan $\exp(\mu_0+a[i]+b[j])$. Kun tämän mallin parametrit estimoidaan datasta, niin

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	6.34894	0.03526	180.07	<2e-16 ***
laji2	1.12997	0.03790	29.81	<2e-16 ***
laji3	-5.21602	0.44843	-11.63	<2e-16 ***
laji4	-2.26111	0.10725	-21.08	<2e-16 ***
laji5	-5.21602	0.44843	-11.63	<2e-16 ***
vari2	-0.69564	0.03533	-19.69	<2e-16 ***
vari3	-2.19184	0.06429	-34.09	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-ohjelmassa tämä tulee seuraavilla komennoilla:

```
D <- read.ftable("DATA2.txt")
attach(as.data.frame(D))
```

```
result <- glm(Freq ~ laji + väri, family=poisson,data=D)
summary(result)
```

Edellä jokaisen lajin (lajit 2,3,4,5) ja värin (värit 2,3) efektiä verrattiin lajin 1 värin 1 tuloksiin. Kaikki näyttävät poikkeavan siitä merkittävästi, joten sekä lajilla että värillä on väliä.

Tehdään vielä toinen parametrisointi, jossa malli on

$$Y[i,j] \sim \text{Poisson}(\mu[i,j])$$

$$\log(\mu[i,j]) = \mu_0 + a[i] + b[j] ; \text{ jossa } a[1] = -\sum(a[2:5]) \text{ ja } b[1] = -\sum(b[2:3])$$

eli päävaikutukset a ja b tulkitaan nyt k.o. luokan erona k.o. luokkien keskiarvoon. (Eikä kuten edellä vertailukohdaksi valittuun "ykkösluokkaan" joka oli laji1,väri1). R:ssä koodi:

```
D <- read.ftable("DATA2.txt")
attach(as.data.frame(D))
myContrasts <-
list(laji=contr.sum(length(levels(laji))),vari=contr.sum(length(levels(vari))))
result2 <- glm(Freq ~ laji + väri,
family=poisson,data=as.data.frame(D),contrasts=myContrasts)
summary(result2)
```

Coefficients:

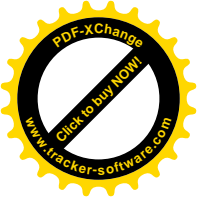
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	3.07380	0.12949	23.738	< 2e-16 ***
laji1	2.31264	0.13086	17.672	< 2e-16 ***
laji2	3.44260	0.12917	26.652	< 2e-16 ***
laji3	-2.90338	0.36942	-7.859	3.87e-15 ***
laji4	0.05153	0.15075	0.342	0.732
vari1	0.96249	0.02627	36.638	< 2e-16 ***
vari2	0.26685	0.02880	9.267	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Jonka mukaan kunkin lajin ero k.o. lajien keskiarvosta on merkitsevä, paitsi lajin 4, ja kunkin värin ero värien keskiarvosta on merkitsevä.

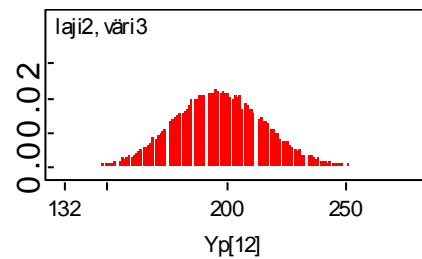
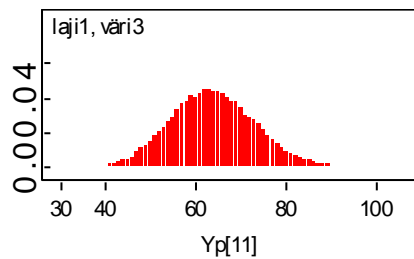
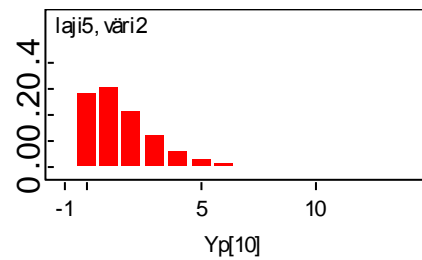
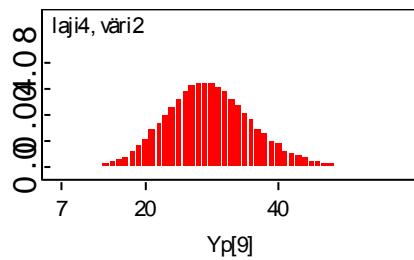
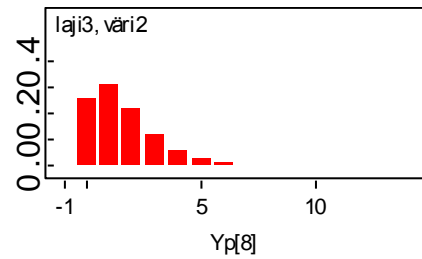
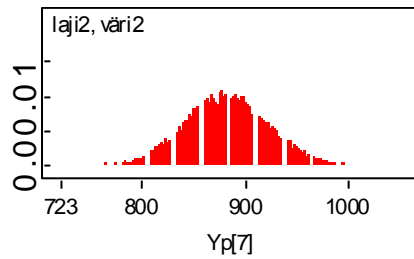
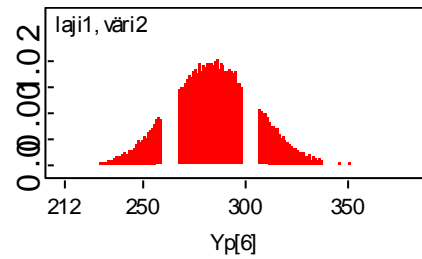
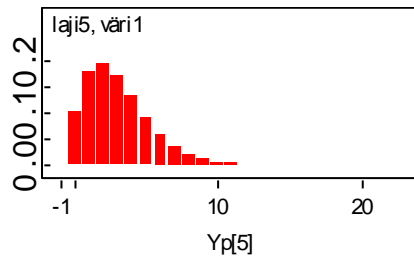
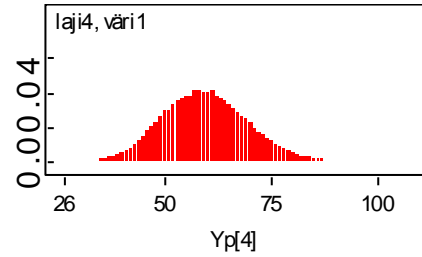
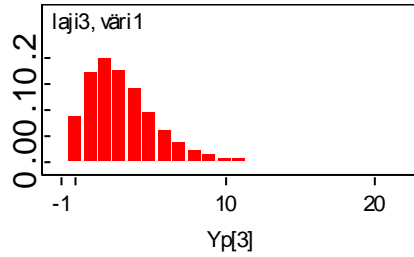
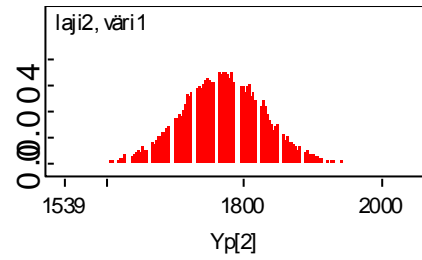
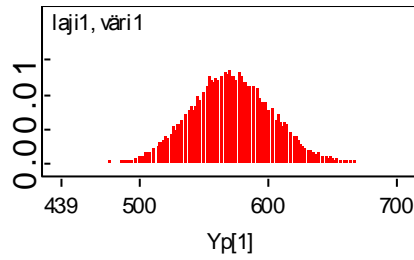
Coefficients listassa näkyy vain vapaat parametrit (joita on aina yksi vähemmän kuin luokkia), mutta kaikkien arvot saadaan näkyviin komennolla: dummy.coef(result2)

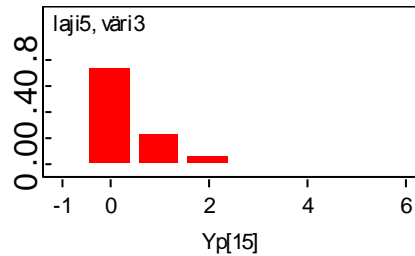
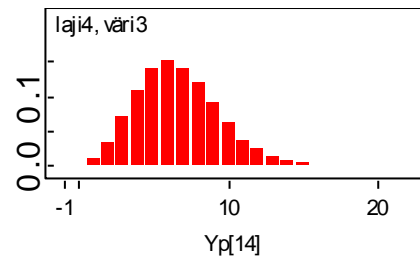
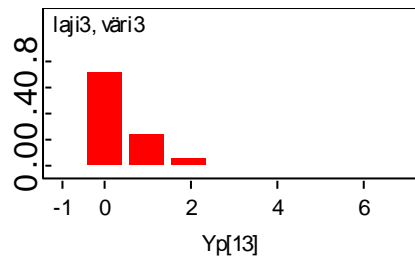
```
(Intercept): 3.073805
laji:      1      2      3      4      5
           2.31263821 3.44260326 -2.90338392 0.05152636 -2.90338392
väri:      1      2      3
           0.9624941 0.2668522 -1.2293463
```



Merkitsevyystestit eivät yleensä ole ehkä hyödyllisin analyysi koska eivät kerro määrällistä arviota vaikutuksen suuruudelle, ja testaaminen riippuu valitusta testistä. Mielekkäämpi voisi olla prediktiivinen analyysi, jossa dataan sovitetaan malli, ja sitten ennustetaan tulosmuuttujaa erilaisilla halutuilla selittävillä tekijöillä ja verrataan kuinka paljon ennusteet eroavat. Esim. verrattaessa kahta päätöstä: viljelläkö lajia X ja väriä Y, vai jotakin toista yhdistelmää. Ennusteesta voi laskea millä valinnalla saa todennäköisesti suuremman hyödyn/haitan. Seuraavassa ennustejakaumat (posterioripredikatiiviset jakaumat em. mallista), joista näkyy mitä lukemia voisi odottaa näkevänsä jos saman kokeen tekee uudestaan. Ennustejakaumat (15kpl) ovat järjestyksessä samat kuin taulukossa (jonka havaintoihin ennusteita voi verrata):

laji väri Freq	LAIKE	HYÖNTEISMÄÄRÄ/kpl
1 1 1 415	Vaalea Brassica	415
2 2 1 1983	Vaalea Lactuca	1983
3 3 1 5	Keltainen Ipomoea	5
4 4 1 4	Keltainen Solenostemon	4
5 5 1 1	Kirjava Ocimum	1
	Vaaleat lajikkeet	2408
	LAIKE	HYÖNTEISMÄÄRÄ/kpl
6 1 2 447	Vihreä Brassica	447
7 2 2 658	Vihreä Lactuca	658
8 3 2 0	Vihreä Ipomoea	0
9 4 2 92	Vihreä Solenostemon	92
10 5 2 4	Vihreä Ocimum	4
	Vihreät lajikkeet	1201
	LAIKE	HYÖNTEISMÄÄRÄ/kpl
11 1 3 59	Punainen Brassica	59
12 2 3 210	Punainen Lactuca	210
13 3 3 0	Punainen Ipomoea	0
14 4 3 0	Punainen Solenostemon	0
15 5 3 0	Punainen Ocimum	0
	Punaiset lajikkeet	269





BUGS-koodi:

```
model{ # reference point: average
for(i in 1:15){
Y[i] ~ dpois(mu[i]) # data
Yp[i] ~ dpois(mu[i]) # prediction
log(mu[i]) <- m0 + a[laji[i]] + b[vari[i]]
c[i] <- i
}
m0 ~ dnorm(0,0.001)
for(i in 2:5){ a[i] ~ dnorm(0,0.001)}
a[1] <- -sum(a[2:5])
for(j in 2:3){ b[j] ~ dnorm(0,0.001)}
b[1] <- -sum(b[2:3])
}
# initial values:
list(m0=2,a=c(NA,0,0,0,0),b=c(NA,0,0))
```

Y[]	laji[]	vari[]
415	1	1
1983	2	1
53	1	
44	1	
15	1	
447	1	2
658	2	2
03	2	
92	4	2
45	2	
59	1	3
210	2	3
03	3	
04	3	
05	3	
END		

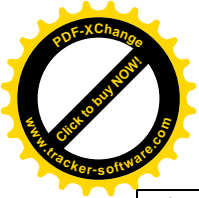


Liite 5. Lämpötilat
Lämpötilat; seuranta-ajan vuorokauden alimmat lämpötilat lisätty suluissa.

päivämäärä	klo 06:00 min	klo 6:00 max	klo 12:00 min	klo 12:00 max	klo 15:00 min	klo 15:00 max			
13.8.	14,33	14,31	14,32	20,39	20,15	20,27	21,79	21,67	21,73
12.8.	19,36	19,42	19,39	23,61	24,09	23,85	25,01	24,98	24,995
11.8.	19,22	19,41	19,315	23,7	23,8	23,75	25,09	25,28	25,185
10.8.	19,07	19,23	19,15	23,69	23,71	23,7	24,01	24,21	24,11
9.8.	15,19	15,05	15,12	23,71	23,81	23,76	23,68	23,75	23,715
8.8.	14,62	14,82	14,72	23,44	23,61	23,525	24,94	24,94	24,94
7.8.	22,3	21,73	22,015	27,94	28,25	28,095	27,81	28,07	27,94
6.8.	20,85	20,79	20,82	28,2	28,11	28,155	28,16	27,98	28,07
5.8.	22,21	21,73	21,97	28,16	28,46	28,31	27,77	27,77	27,77
4.8.	22,3	22,33	22,315	27,23	27,63	27,43	27,42	27,76	27,59
3.8.	20,12	19,71	19,915	26,14	26,34	26,24	26,45	26,76	26,605
2.8.	19,92	19,95	19,935	24,19	24,23	24,21	24,67	24,81	24,74
1.8.	20,73	20,88	20,805	23,81	24,09	23,95	24,26	24,36	24,31
31.7.	23,4	23,3	23,35	26,88	27,04	26,96	20,42	20,64	20,53
30.7.	19,07	19,13	19,1	25,87	25,87	25,87	26,53	26,49	26,51
29.7.	20,57	20,48	20,525	26,88	26,88	26,88	27,04	27,04	27,04
28.7.	19,73	19,63	19,68	26,65	26,8	26,725	28,95	29,21	29,08
27.7.	21,45	20,27	20,86	28,11	28,46	28,285	28,16	28,64	28,4
26.7.	20,94	20,09	20,515	27,31	27,35	27,33	28,38	28,38	28,38
25.7.	22,21	20,54	21,375	26,96	27,23	27,095	27,11	27,23	27,17
24.7.	21,03	21,06	21,045	26,34	26,92	26,63	25,48	25,79	25,635
23.7.	20,36	20,33	20,345	29,51	29,56	29,535	27,63	27,72	27,675
22.7.	18,25	18,3	18,275	25,48	25,48	25,48	25,6	25,95	25,775
21.7.	18,68	18,73	18,705	24,4	24,67	24,535	24,29	24,36	24,325
20.7.	19,84	19,2	19,52	24,57	26,69	25,63	29,63	30,61	30,12
19.7.	17,52	18,07	17,795	20,8	21,04	20,92	21,6	21,99	21,795
18.7.	16,5	16,52	16,51	19,23	19,17	19,2	18,64	19,15	18,895
17.7.	14,6	14,94	14,77	18,73	18,91	18,82	19,36	19,73	19,545
16.7.	17,02	16,37	16,695	18,23	18,63	18,43	19,48	19,43	19,455
15.7.	16,78	17,82	17,3	19,83	19,65	19,74	21,02	21,02	21,02
14.7.	18,94	19,26	19,1	20,42	20,79	20,605	22,53	22,37	22,45
13.7.	18,86	18,86	18,86	22,57	23,08	22,825	21,55	22,03	21,79
12.7.	15,16	15,3	15,23	20,75	21,08	20,915	20,48	20,57	20,525



11.7.	16,39	16,37	16,38	18,8	18,98	18,89	20,3	20,15	20,225
10.7.	18,93	19,2	19,065	20,42	21,39	20,905	19,99	20,89	20,44
9.7.	18,99	19,02	19,005	22,59	23,34	22,965	26,54	27,2	26,87
8.7.	20,09	20,03	20,06	24,29	24,4	24,345	23,88	23,88	23,88
7.7.	18,25	18,15	18,2	23,37	23,54	23,455	23,64	23,68	23,66
6.7.	17,96	17,49	17,725	21,36	21,33	21,345	21,51	21,58	21,545
5.7.	12,7	12,5	12,6	17,39	17,46	17,425	19,26	19,39	19,325
4.7.	14,17	14,21	14,19	18,86	19,13	18,995	20,09	19,97	20,03
3.7.	13,01	13,11	13,06	17,2	17,25	17,225	18,15	18,22	18,185
2.7.	12,37	12,5	12,435	15,47	15,71	15,59	16,64	16,71	16,675
1.7.	12,96	12,99	12,975	13,6	13,72	13,66	13,45	13,62	13,535
30.6.	11,89	12,01	11,95	14,35	14,29	14,32	14,94	14,94	14,94
29.6.	13,66	13,78	13,72	12,01	12,08	12,045	12,08	12,19	12,135
28.6.	13,27	13,29	13,28	15,94	16,22	16,08	17,67	17,77	17,72
27.6.	9,49	9,46	9,475	15,47	15,52	15,495	15,5	15,68	15,59
26.6.	10,76	10,88	10,82	13,19	13,29	13,24	9,49	9,46	9,475
25.6.	10,25	10,45	10,35	14,09	14,11	14,1	13,13	13,31	13,22
24.6.	9,55 (7)	9,64	9,64	12,48	12,74	12,61	14,6	14,31	14,455
23.6.	7,22 (6,6)	7,34	7,34	11,98	12,32	12,15	12,56	12,76	12,66
22.6.	9,33 (5,99)	9,33	9,33	11,89	11,96	11,925	9,82	10,13	9,975
21.6.	8,33 (5,72)	8,33	8,33	8,76	8,91	8,835	11,11	10,79	10,95
20.6.	11,85	12,19	12,02	14,86	14,88	14,87	11,04	11,17	11,105
19.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
18.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
17.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
16.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
15.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
14.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
13.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
12.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
11.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
10.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
9.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
8.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
7.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	
6.6.		#JAKO/0!			#JAKO/0!			#JAKO/0!	



5.6.	#JAKO/0!				#JAKO/0!				#JAKO/0!
4.6.	16,34	16,39	16,365	22,21	22,06	22,135	22,99	23,17	23,08
3.6.	14,41	14,5	14,455	15,14	15,24	15,19	15,22	15,4	15,31
2.6.	12,48	12,7	12,59	16,69	16,76	16,725	16,43	16,53	16,48
1.6.	10,11 (8,91)	10,34	10,34	15,54	15,71	15,625	14,82	14,92	14,87
31.5.	10,11 (9,82)	10,24	10,24	12,16	12,24	12,2	12,58	12,72	12,65
30.5.	9,99	10,15	10,07	12,14	12,23	12,185	12,52	12,88	12,7
29.5.	7,73 (7,02)	7,82	7,82	8,49	8,63	8,56	9,58	9,77	9,675
28.5.	5,81 (4,89)	5,96	5,96	7,3	7,33	7,315	7,52	7,65	7,585
27.5.	8,57 (8,71)	8,65	8,65	8,01	7,93	7,97	6,45	6,7	6,575
26.5.	15,92	15,99	15,955	22,12	22,27	22,195	22,33	22,55	22,44
25.5.	18,68	18,89	18,785	24,74	24,84	24,79	22,42	23,1	22,76
24.5.	19,1	19,23	19,165	25,28	25,87	25,575	26,76	27,04	26,9
23.5.	26,91	28,68	27,795	22,45	22,62	22,535	25,21	25,48	25,345
22.5.	13,98	14,06	14,02	21,33	21,24	21,285	25,36	25,36	25,36
21.5.	14,25	14,45	14,35	17,46	17,69	17,575	16,9	17,32	17,11
20.5.	14,82	14,62	14,72	21	21,36	21,18	24,84	24,67	24,755
19.5.	15,45	15,57	15,51	25,83	25,91	25,87	30,84	32,06	31,45
18.5.	11,81 (2,17)	11,01	11,01	22,18	22,09	22,135	21,82	21,97	21,895
17.5.	7,63 (1,65)	7,52	7,52	15,92	16,08	16	16,34	16,41	16,375
16.5.	7,40 (1,7)	7,51	7,51	9,91	9,94	9,925	12,07	12,14	12,105
15.5.	5,74 (5,31)	5,85	5,85	10,49	11,04	10,765	10,47	10,54	10,505
14.5.	7,91 (8,05	8,05	12,96	13,13	13,045	13,47	13,88	13,675
13.5.	9,16	9,3	9,23	11,6	11,83	11,715	10,63	10,77	10,7
12.5.	9,01	9,07	9,04	9,3	9,39	9,345	11,38	11,62	11,5

Ajankohta, joka puuttui yliopiston mittauksina, oli 5.6.–19.6.2014
kellonaikoina klo 06:00, 12:00 sekä 15:00. Puuttuva aineisto on laadittu
Ilmatieteen Laitoksen alkuperäisen aineiston pohjalta. Copyright Ilmatieteen
Laitos. Ilmatieteen laitos ei vastaa datojen käytöstä.

Lpnn	Päivä	Tunti SA	Lämpötila
339	6/5/2014	6	18.2
339	6/5/2014	12	21.7
339	6/5/2014	15	25.3
339	6/6/2014	6	15.1
339	6/6/2014	12	23.4
339	6/6/2014	15	18.1



339	6/7/2014	6	15
339	6/7/2014	12	17.6
339	6/7/2014	15	18.2
339	6/8/2014	6	13.7
339	6/8/2014	12	14.8
339	6/8/2014	15	16.8
339	6/9/2014	6	13.3
339	6/9/2014	12	19.4
339	6/9/2014	15	20
339	6/10/2014	6	15.8
339	6/10/2014	12	19.4
339	6/10/2014	15	16.5
339	6/11/2014	6	12.9
339	6/11/2014	12	19.6
339	6/11/2014	15	19.3
339	6/12/2014	6	13.7
339	6/12/2014	12	13.1
339	6/12/2014	15	12.1
339	6/13/2014	6	11.7
339	6/13/2014	12	12.8
339	6/13/2014	15	13.9
339	6/14/2014	6	13.4
339	6/14/2014	12	14.4
339	6/14/2014	15	13.5
339	6/15/2014	6	9.1
339	6/15/2014	12	16
339	6/15/2014	15	16.2
339	6/16/2014	6	9.7
339	6/16/2014	12	15.5
339	6/16/2014	15	15
339	6/17/2014	6	5.1
339	6/17/2014	12	5.2
339	6/17/2014	15	9.8
339	6/18/2014	6	6.8
339	6/18/2014	12	13.9
339	6/18/2014	15	14.8
339	6/19/2014	6	9.7
339	6/19/2014	12	15.8
339	6/19/2014	15	15.9



Liite 6. Toukkien punnituspainot

Painoihin on lisätty oletettu nollapunnitus ja prosentuaalinen kasvu.

		0,05		
		kehitys	paino	prosentuaalinen
kasvu				
vaalea	1. punnitus	0,000000	0,050000	
	2.punnitus	0,264191667	0,314192	528,38
	3.punnitus	4,653125	4,703125	9306,25
	4. punnitus	0,955492	1,005492	1910,98
vihreä	1. punnitus	0,000000	0,050000	
	2.punnitus	0,556275	0,606275	1112,55
	3.punnitus	4,737608	4,787608	9475,22
	4. punnitus	0,937655	0,987655	1875,31
punainen	1. punnitus	0,000000	0,050000	
	2.punnitus	0,431816667	0,481817	863,63
	3.punnitus	3,372583	3,422583	6745,17
	4. punnitus	0,671983	0,721983	1343,97